



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학박사학위논문

자전거 차두시간과 차량 회피행태 기반
자전거도로 주행 안전성 연구

2016년 8월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과 교통학전공
전 우 훈

자전거 차두시간과 차량 회피행태 기반 자전거도로 주행 안전성 연구

지도교수 이 영 인

이 논문을 도시계획학 박사학위논문으로 제출함

2016년 4월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 교통학전공

전 우 훈

전우훈의 박사학위논문을 인준함

2016년 7월

위 원 장 _____ (인)

부 위 원 장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

1990년대 이후 에너지소비량과 온실가스 배기량을 최소화하기 위한 전 세계적인 노력에 맞춰 국내에서도 자전거교통에 대한 관심이 증가하기 시작하였으며, 정부와 지자체에서는 자전거를 생활형과 레저형 수단으로 활용하기 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 이에 자전거 교통량은 매년 기하급수적으로 증가하여 자전거인구는 2015년에 약 1,200만명에 이르는 것으로 추정되고 있으며, 주로 4대강 자전거도로와 강변 자전거도로 등의 자전거도로 및 속초와 임진각 등의 자동차도로를 주행하는 수요가 많이 발생하고 있다. 자전거이용자의 증가에 따라 자전거사고 역시 증가하고 있는데, 서울시의 경우 사망자수는 2008년부터 2010년까지 3년 동안 108명에 이르고 부상자도 9,108명이 발생하여 자전거이용의 안전성을 향상시키기 위한 노력이 요구되고 있다. 자전거이용자의 안전성을 향상시키기 위해서는 자전거의 교통류에 대한 기초적인 연구가 필수적이나, 국내뿐만 아니라 국외에서도 관련 연구는 많이 부족한 실정이다. 이는 아직까지 자전거를 독립적인 교통수단으로 인지하지 않고 있기 때문이며, 점차 자전거수요의 증가에 따른 자전거교통사고의 증가로 인해 자전거교통류에 대한 연구에 대한 필요성은 지속적으로 증가하고 있다.

국내 자전거이용자가 가장 많이 이용하는 자전거도로는 한강과 안양천 등의 강변에 설치된 연속류 자전거전용도로이다. 이러한 강변 자전거도로는 특정한 목적지를 향해 빠르게 주행하는 동호회 위주의 교통류와 가족 단위로 낮은 속도를 유지하면서 주행하는 교통류가 1.5m 내외의 도로폭 내에 혼재되고 있어 많은 교통사고가 발생하는 등 안전성 측면에서 매우 위험하다. 동호회 위주의 자전거 교통류는 기본적으로 정해진 시간 내에 목적지를 다녀오는 통행이 대다수이며, 이러한 자전거 교통류의 평균 주행속도는 제한속도인 30kph를 초과하여 주행하곤 한다. 반면 가족 단위의 자전거 교통류는 대부분 15kph 내외의 저속으로 운영됨으로 인해 2개 교통류의 속도차이로 인한 상충이 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 이질적인 교통류의 분석을 위해서는 차두시간의 분포 및 이를 설명할 수 있는 차두시간 분포모형을 이용하는 것이 일반적이나, 현재 국내뿐만 아니라 국외에서도 연구사례가 부족하다. 교통류의 차두시간에 대한 분석은 교통류분석의 기초적인 단계이므로, 본 연구에서는 종적

(Longitudinal)인 주행 안전성 분석의 일환으로 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포모형을 개발하고자 한다. 이를 위해 관측된 자전거교통류의 차두시간 데이터의 적용범위와 모형적용을 위한 교통량의 구분, 차두시간의 집계간격 구분, 기존의 기초적 모형과 전이된 모형의 적용 등에 대해 제시하였으며, 실제 연속류 자전거교통의 차두시간 데이터를 활용하여 적용가능성을 검토하였다. 차두시간 데이터는 0.7초 이하의 데이터는 적용범위에서 제외하였으며, 1분당 8대를 기준으로 낮은 교통량과 높은 교통량으로 구분하였다. 차두시간 분포모형은 기초적인 모형인 정규분포와 음지수분포, 피어슨 III분포모형을 적용하였고 전이된 모형에 대한 검토를 위해 기존의 음지수분포에서 전이값을 0.5초를 적용하여 비교 분석하였다. 분석결과 0.5초 단위분석에서 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 관계가 유의한 것으로 나타났다. 반면, 정규분포와 피어슨 III분포는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 음지수분포와 0.5초 전이된 음지수분포는 둘 다 유의한 것으로 나타났으나, 통계치를 비교하였을 때 전이된 음지수분포가 더욱 적합도가 높은 것으로 판단된다.

기초적인 교통류 특성분석과 종적 주행 안전성 측면에서 차두시간과 함께 대표적용 사용되는 지표는 도로용량이다. 만약 자전거교통류에서 용량상태의 차두시간이 현장에서 관측된다면 도로구간의 용량은 쉽게 구해질 수 있다. 하지만 자전거도로는 자동차도로와는 달리 현실적으로 용량상태를 관측하기가 쉽지 않으므로 본 연구에서는 자전거 교통류군(群)의 개념을 통해 용량을 산출하고자 하였다. 즉, 연속된 자전거 교통류군은 일시적인 자전거교통류의 용량상태를 모사하며, 각 자전거 교통류군의 평균 차두시간은 자전거 교통류군을 대표한다고 가정하였다. 총 556대의 자전거교통류에서 189개의 자전거 교통류군에 대한 차두시간을 수집하였으며, 평균 차두시간은 1.01초가 관측되어 자전거도로의 용량은 약 3,600대/시인 것으로 제시하였다.

자전거운전자가 강변의 자전거도로와 같은 전용도로가 없는 일반도로를 주행할 때는 도로교통법에 따라 도로 우측 가장자리로 통행을 할 수 있도록 하고 있다. 그러나 대부분의 자동차 운전자는 저속류인 자전거가 차도를 주행하는 것을 꺼리고 있으며, 위협적인 운전행태로 인해 종종 자전거운전자의 안전성을 저하시키고 있다. 도로교통법에는 자동차가 자전거를 추월할 경우 안전한 거리를 유지하도록 하고 있으나, 안전한 거

리의 기준에 대해서는 정해진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 횡적 (Lateral) 주행 안전성의 분석을 위해 자동차가 자전거를 추월할 때의 회피행태를 현장조사를 통해 검토하였다. 자동차와 자전거의 동일선상에서의 회피거리를 추정하였으며, 이를 통해 자전거를 추월하는 자동차의 안전 이격거리를 제시하고자 하였고, 안전 이격거리는 99%신뢰수준에서 신뢰구간의 하한치와 상한치가 1.49m~1.67m인 것으로 나타났다. 또한 기하구조 측면에서 자동차가 자전거와의 이격거리를 최소화하는 길어깨 폭을 제시하였다. 자전거가 없을 때와 추월할 때의 이격거리를 통해 자동차가 회피행태를 최소화할 수 있는 길어깨폭을 제시하고자 하였으며, 분석결과 최소 길어깨폭은 2.08m인 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시된 종적 주행안전성의 지표인 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포모형과 교통용량, 그리고 횡적 주행안전성의 지표인 자동차와의 안전이격거리 및 최소길어깨폭 등은 자전거도로의 계획과 설계에서 적용이 가능하다. 또한 기존 자전거도로 및 자전거통행이 많은 자동차도로의 기하구조 개선에도 반영이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 자전거도로의 안전성 향상을 위한 다양한 정책(예: 도로 및 교통안전시설 설치, 추월차로 설치, 길어깨 확폭 등) 결정시 의사결정 지원수단으로 활용도 가능하다. 뿐만 아니라 자전거도로 관련 지침과 매뉴얼 등의 설계 및 운영기준 정립에도 적용이 가능하다. 학술적으로는 자전거교통류의 안전성 증진을 위한 시뮬레이션 분석 등 다양한 연구의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

주요어 : 자전거도로, 자전거 차두시간, 용량, 차두시간 모형, 자전거 교통류, 이격거리

학 번 : 2008-30676

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경 및 목적	1
제2절 연구의 범위 및 방법	6
제3절 연구의 수행체계	9
제2장 선행연구 고찰	11
제1절 선행연구의 고찰	11
1. 선행연구의 선정 및 체계	11
2. 종적 주행 안전성 분석 연구	12
3. 횡적 주행 안전성 분석 연구	19
제2절 시사점 도출	20
1. 선행연구 시사점 검토	20
2. 본 연구의 차별성 및 기여	22
제3장 차두시간 기반 종적 주행 안전성 분석	24
제1절 개요	24
제2절 자전거교통류의 차두시간 분포모형	27
1. 차두시간 분포모형 선정	27
2. 선정된 모형의 적용 및 평가	47
3. 소결	53
제3절 연속류 자전거도로 용량분석	57
1. 자전거도로 용량분석 방법론	57
2. 현장조사	60
3. 자전거도로 용량 추정	62
4. 자전거도로 용량의 의미 및 활용방안	65
5. 소결	67
제4장 회피행태 기반 횡적 주행 안전성 분석	69
제1절 개요	69
제2절 회피행태 현장실험	71
1. 현장실험 개요	71

2. 데이터 분석방법	75
제3절 자전거 안전 이격거리 분석	77
1. 기초자료 분석	77
2. 안전 이격거리 추정	81
제4절 안전 이격거리를 고려한 길어깨 적정폭 분석	85
1. 길어깨 적정폭 분석방법	85
2. 자전거 인지 영향권 설정 및 이격거리 추정	87
3. 안전 이격거리를 고려한 적정 길어깨폭 추정	92
제5절 소결	96
 제5장 결론 및 향후연구	 98
제1절 결론	98
제2절 적용방안 및 향후연구	99
 참고문헌	 102
 부록 1 : 자전거도로 용량분석 R코드	 106
부록 2 : 차두시간 분포분석 R코드	109
부록 3 : 차두시간 분포모형 비교	124
부록 4 : 차두시간 분포모형 데이터	141
 Abstract	 157

표 목 차

<표 1-1> 자전거 교통사고 통계(경찰청, 2015)	7
<표 2-1> 차두시간 분포모형의 선행연구 고찰결과	15
<표 2-2> 자전거도로 용량의 선행연구 고찰결과	18
<표 2-3> 자동차의 자전거 회피행태의 선행연구 고찰결과	20
<표 3-1> 피어슨 III 분포 모형의 분류에 따른 수식(May, 1990)	30
<표 3-2> 모의실험의 주행속도에 따른 차두시간	36
<표 3-3> 차두시간 데이터의 기초 통계량	40
<표 3-4> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(좌측, 낮은 교통량) ..	41
<표 3-5> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(좌측, 높은 교통량) ..	42
<표 3-6> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(우측, 낮은 교통량) ..	43
<표 3-7> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(우측, 높은 교통량) ..	44
<표 3-8> 분포에 따른 통계검정 결과(모형선정 단계)	45
<표 3-9> 전이값에 따른 음지수분포의 통계검정 결과	46
<표 3-10> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교·평가(좌측, 낮은 교통량) ...	48
<표 3-11> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교·평가(좌측, 높은 교통량) ...	49
<표 3-12> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교·평가(우측, 낮은 교통량) ...	50
<표 3-13> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교·평가(우측, 높은 교통량) ...	51
<표 3-14> 분포에 따른 통계검정 결과(모형 적용 및 평가 단계)	52
<표 3-15> 자전거도로 차두시간에 따른 용량	64
<표 4-1> 데이터 수집 및 적정성 판단	75
<표 4-2> 분석 유효데이터 수	78
<표 4-3> 추월지점 기준 Data Set의 개수	79
<표 4-4> 자전거 추월에 따른 이격거리	81
<표 4-5> 신뢰수준에 따른 안전 이격거리의 신뢰구간	84
<표 4-6> 지점별 횡방향 이격거리 변화량	88
<표 4-7> 일반주행의 지점별 횡방향 이격거리	90
<표 4-8> Levene 통계검정	91
<표 4-9> 안전을 고려한 최소 길어깨폭(단위 : m)	94

그 립 목 차

<그림 1-1> 연구의 공간적 범위 및 내용	7
<그림 1-2> 연구의 내용적 범위에 따른 수행절차	8
<그림 1-3> 연구의 수행체계	10
<그림 3-1> 시간-거리 관계에서의 차두시간 개념(May, 1990)	25
<그림 3-2> 차두시간 데이터 수집 전경	32
<그림 3-3> 차두시간 측정 방법	33
<그림 3-4> 차두시간 분석 프로그램	33
<그림 3-5> 차두시간 모의실험 개요	34
<그림 3-6> 차두시간 모의실험 전경	35
<그림 3-7> 차두시간과 교통량(우측, 관측)	37
<그림 3-8> 차두시간과 교통량(좌측, 관측)	37
<그림 3-9> 차두시간과 교통량(양방향, 관측)	38
<그림 3-10> 관측치와 예측치의 비교(좌측, 낮은 교통량)	40
<그림 3-11> 관측치와 예측치의 비교(좌측, 높은 교통량)	41
<그림 3-12> 관측치와 예측치의 비교(우측, 낮은 교통량)	42
<그림 3-13> 관측치와 예측치의 비교(우측, 높은 교통량)	43
<그림 3-14> 전이값에 따른 통계검정 결과	46
<그림 3-15> 관측치와 예측치의 비교·평가(좌측, 낮은 교통량)	48
<그림 3-16> 관측치와 예측치의 비교·평가(좌측, 높은 교통량)	49
<그림 3-17> 관측치와 예측치의 비교·평가(우측, 낮은 교통량)	50
<그림 3-18> 관측치와 예측치의 비교·평가(우측, 높은 교통량)	51
<그림 3-19> 자전거 교통류군 측정 전경	61
<그림 3-20> 교통류군의 차두시간 측정 방법	61
<그림 3-21> 차두시간 분포(한강)	62
<그림 3-22> 차두시간 분포(안양천)	63
<그림 3-23> 차두시간 분포(전체)	64
<그림 4-1> 자동차와 자전거의 이격거리 규정	70
<그림 4-2> 미국 주(州)별 이격거리 규정	70
<그림 4-3> 회피행태의 현장실험 위치(출처 : 구글맵)	72
<그림 4-4> 이격거리 산출을 위한 노면마킹 방법	73

<그림 4-5> 이격거리 산출을 위한 노면마킹 형태	73
<그림 4-6> 통행방법에 따른 실험 시나리오	74
<그림 4-7> 실험구간 시·종점 및 촬영구간(출처 : 구글맵)	74
<그림 4-8> 구간별 영상자료 코딩방법	77
<그림 4-9> 분석개체별 영상자료 입력방법	77
<그림 4-10> 이격거리 그래프의 중앙 좌표변환	78
<그림 4-11> 자동차의 이격 궤적(전체/상행/하행)	80
<그림 4-12> 정규분포 형태(95% 신뢰수준)	82
<그림 4-13> 길어깨 적정폭 산정 개념	86
<그림 4-14> 추월시작점과 추월종료점의 개념	87
<그림 4-15> 추월 영향권 구간 선정	89
<그림 4-16> 일반주행 지점별 변화추이	92
<그림 4-17> 안전을 고려한 최소 길어깨폭 산정식	94

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

사람의 힘에 따라 스스로 굴러간다고 해서 우리나라에 처음 들어왔을 때 ‘자행거(自行車)’라고도 불려진 자전거는 일제시대에 보급된 이후부터 자동차가 생활화되기 이전까지 보행 다음으로 가장 중요한 교통수단이었다. 1970년대 경제개발에 따른 국민소득의 증가와 함께 자동차의 이용이 일상화된 전후에도 자전거는 여전히 많은 사람들의 통근이나 통학, 업무, 레저 등에서 광범위하게 사용되었으나, 1980년대 이후 자전거이용은 급격히 감소하게 되었다. 이는 자전거가 자동차에 비해 편리성과 안전성이 떨어지는 측면과 함께, 당시의 자동차 중심의 도로교통정책으로 인해 자전거는 차도를 이용하기가 어려워진 반면 자전거도로 등 인프라는 별도로 구축되지 못하여 교통수단으로서의 기능을 상실하였기 때문이다.

1990년대에 들어서 에너지소비량과 온실가스 배기량을 최소화하기 위한 전 세계적인 움직임에 맞춰 국내에서도 자전거교통에 대한 관심이 증가하였으며, 이때부터 정부와 지자체에서는 자전거를 교통과 레저수단으로 활용하기 위해 많은 노력들을 기울이기 시작했다. 특히 2000년대 말부터 전국을 순환할 수 있는 국가자전거도로 기본계획(행정안전부, 2010)과 4대강을 따라 구축된 4대강 자전거도로(국토해양부, 2009), 주요 국도변의 자전거활성화를 위한 국도상 자전거도로 기본계획(국토해양부, 2010)이 수립되어 시행되고 있어, 기존의 지자체별로 시행된 자전거도로와 연계된다면 교통인프라 측면에서는 전국적인 자전거도로 네트워크를 이루게 될 것으로 기대되고 있다.

자전거도로의 인프라 확대에 따라 주로 레저를 중심으로 자전거이용에 대한 관심과 이용이 활성화되고 있는데, 서울의 경우에도 주말에 한강이나 안양천, 중랑천 등을 이용하는 자전거 인구는 2006년도의 530만명에서 2015년에는 1,200만명으로 추정되고 있어 약 2배 이상 증가하는 추세

이다. 그러나 자전거이용자가 증가함에 따라 자전거사고 역시 증가하고 있는데, 2011년 서울시의 발표에 따르면 자전거로 인한 사망자수는 2008년부터 2010년까지 3년 동안 108명에 이르고 부상자도 9,108명이 발생하여 자전거이용의 안전성을 향상시키기 위한 노력이 요구되고 있다.

특히 강변 등의 자전거도로는 특정한 목적지를 향해 빠르게 주행하는 동호회 위주의 교통류와 가족 단위로 낮은 속도를 유지하면서 주행하는 교통류가 1.5m 내외의 도로폭 내에 혼재되어 있어, 많은 접촉사고가 발생하는 등 안전성 측면에서 매우 위험하다. 동호회 위주의 자전거 교통류는 기본적으로 정해진 시간내에 목적지를 다녀오는 통행이 대다수이며, 이러한 자전거 교통류의 평균 주행속도는 제한속도인 30kph를 초과하여 주행하곤 한다. 반면 가족 단위의 자전거 교통류는 대부분 15kph 내외의 저속으로 운영됨으로 인해 2개 교통류의 속도차이로 인한 상충이 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 이질적인 교통류의 분석을 위해서는 차두시간의 분포 및 이를 설명할 수 있는 차두시간 분포모형을 이용하는 것이 일반적이나, 현재 국내뿐만 아니라 국외에서도 관련 연구가 부족하다.

기초적인 교통류 특성분석에서 차두시간과 함께 대표적인 지표는 도로용량이다. 도로용량이란 주어진 조건하에서 정해진 시간에 그 지점을 통과할 수 있는 최대 교통량이다(도철웅, 2004). 도로용량을 구하는 방법은 첫째 차두시간 분포를 이용하여 구하는 방법과, 둘째 실제 교통량의 관측자료를 이용하여 구하는 방법이 있다. 차두시간 분포를 이용하는 방법은 각 차량간 차두시간 또는 거리를 사용하여 도로용량을 산정하는 방법이다. 차두시간 분포를 이용하는 방법은 용량상태에서 모든 차량의 통행속도는 제약을 받는다는 가정을 기반으로 있다. 실제 교통량의 관측자료를 이용하는 방법은 용량상태에 도달하는 교통류를 측정하여 구하는 방법으로, 실제 도로용량을 산출할 때 가장 많이 사용되는 방법이다. 만약 자전거교통류에서 용량상태의 차두시간이 현장에서 관측된다면 도로구간의 용량은 쉽게 구해질 수 있다. 하지만 자전거도로는 자동차도로와는 달리 현실적으로 용량상태를 관측하기가 쉽지 않으므로 도로구간의 용량

을 구하기는 쉽지 않다. 그 이유는 자전거도로를 주행하는 자전거운전자는 주행의 안전성을 고려하여 도로의 혼잡 이전에 자전거도로의 진입을 포기하거나, 자전거도로 이외의 통행로(차도 혹은 비포장 여유공간 등)를 선택하기 때문이다.

자전거운전자가 강변의 자전거도로와 같은 전용도로가 없는 일반도로를 주행할 때는 도로교통법(제13조의2)에 의해 도로 우측 가장자리로 통행을 할 수 있도록 하고 있다. 그러나 대부분의 자동차 운전자는 저속류인 자전거가 차도를 주행하는 것을 꺼리고 있으며, 운전행위의 불편으로 인해 위협적인 운전행태를 보임으로서 종종 자전거운전자의 안전성을 저하시키고 있다. 이에 도로교통법에는 자동차가 자전거를 추월할 경우 안전한 거리를 유지하도록 규정하고 있으나, 안전한 거리의 기준에 대해서는 정해진 바가 없다. 또한 자전거와 보행자를 위한 별도의 교통시설이 없는 구간에서 자전거이용자와 보행자 등의 교통약자의 안전한 통행을 위한 도로기하구조 시설로 길어깨를 확보하도록 규정하고 있다. 하지만 현재의 길어깨폭이 자전거운전자와 자동차운전자에게 주행 안전성을 충분히 제공하고 있는지에 대한 검토가 필요하다. 만약 자전거와 보행자의 독립적인 교통시설이 없는 도로구간에서, 자동차 교통량이 많거나 자전거 교통량이 많은 도로구간에서는 안전을 고려하여 자전거가 길어깨를 이용할 필요가 있으며 이를 위해 적정한 길어깨폭의 확보가 필요하다.

자동차와 마찬가지로 자전거 역시 안전성에 영향을 끼치는 요소는 도로 기하구조와 안전시설 및 부대시설 등의 인프라 부분과 주행속도와 상충 등의 교통류 부분으로 구분할 수 있다. 자전거도로에 대해서는 행정안전부와 국토해양부에서 제정한 「자전거이용시설 설치 및 관리지침(2010)」에서 인프라 부분에 대한 규정이 제시되어 있다. 하지만 안전성 기반의 자전거도로의 설계와 운영을 위해서는 교통류 특성에 대한 연구가 필요하나, 현재의 지침에서는 학술적인 연구보다는 기존의 기준에 대한 이론적인 검토결과만으로 규정이 작성되었다. 또한 자전거교통류에 대한 국내의 관련 연구는 많이 부족한 실정이다. 교통류에 대한 부분은

주로 「도로용량편람」에서 다루고 있으나 2001년 이후 현재까지 자전거 교통류 분야에 대한 개정이 이루어지지 못하고 있으며, 최근에 제정된 「자전거이용시설 설치 및 관리지침(2010)」에서도 자전거교통류에 대한 내용은 기존의 「도로용량편람」을 인용하는 수준에 그치고 있다.

따라서 본 연구에서는 자전거도로의 기초적인 교통류 특성을 분석하고자 한다. 내용적 범위는 첫째, 종적(Longitudinal) 주행 안전성 측면에서 자전거의 대표적인 통행구간인 자전거도로 내의 자전거-자전거 교통류와 둘째, 횡적(Lateral) 주행 안전성 측면에서 자동차도로의 자전거-자동차 교통류이다. 종적 주행이란 자전거의 주행방향을 기준으로 종적인 방향을 말하며, 종적 주행 안전성이란 자전거이용자의 종적방향 측면에서 발생하는 안전성으로 정의할 수 있다. 횡적 주행이란 자동차와 자전거의 진행방향을 기준으로 측면을 말하며, 횡적 주행 안전성이란 자동차와 자전거의 측면에서 발생하는 안전성으로 정의할 수 있다.

먼저 자전거-자전거 교통류의 분석은 연속 자전거교통류의 차두시간 분포모형을 개발하기 위한 방법론을 제시하였다. 이를 위해 관측된 자전거교통류의 차두시간 데이터의 적용범위와 모형적용을 위한 교통량의 구분, 기존의 기초적 모형과 전이된 모형의 적용 등에 대해 제시하였으며, 실제 연속류 자전거교통의 차두시간 데이터를 활용하여 적용가능성을 검토하였다. 또한 연속류 자전거도로의 용량을 산출하기 위해 자전거 교통류군의 개념을 적용하여 용량을 추정하였다. 자전거-자동차 교통류의 분석은 자전거의 주행시에 자동차가 추월을 하기 위한 회피행태를 현장조사를 통해 분석하고, 자동차와 자전거의 적정 이격거리 및 안전을 고려한 최소 길어깨폭을 제시하였다.

본 연구에서 제시된 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포모형과 교통용량, 자동차와의 안전이격거리 및 최소길어깨폭 등은 자전거도로의 계획과 설계에서 적용이 가능하며, 기존 자전거도로 및 자전거통행이 많은 자동차도로의 기하구조 개선에도 반영이 가능할 것으로 판단된다. 또한 자전거도로의 안전성 향상을 위한 다양한 정책(예: 도로 및 교통안전시설 설치, 추월차로 설치, 길어깨 확폭 등) 결정시 의사결정 지원수단으로

활용도 가능하다. 뿐만 아니라 자전거도로 관련 지침과 매뉴얼 등의 설계 및 운영기준 정립에도 적용이 가능하다. 학술적으로는 자전거교통류의 안전성 증진을 위한 시뮬레이션 분석 등 다양한 연구의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

제2절 연구의 범위 및 방법

도로교통법에 따라 자전거는 2가지의 통행방법이 존재한다. 첫째는 자전거만 통행할 수 있는 전용도로와 겸용도로 등의 자전거도로에서 통행이 가능하며, 둘째는 자전거도로가 설치되지 아니한 곳에서 도로 우측 가장자리에서 통행할 수 있다.

국내 자전거도로의 폭은 일방향 기준으로 1.2m~1.5m이며, 도로교통법에 의해 2대 이상이 나란히 통행하는 것이 금지되어 있다. 실제 「자전거이용시설 설치 및 관리지침」에 의하면 자전거 자체의 폭은 0.7m이고 주행에 따른 측방여유폭을 감안할 때, 현재의 자전거도로 폭은 대향차로를 이용하지 않는 한 앞지르기가 어렵다. 본 연구에서 분석하고자 하는 강변 등의 자전거도로는 대향차로의 교통량이 많으며, 이로 인해 자전거도로를 주행하는 자전거교통류의 상충은 후미추돌이 대부분 발생하고 있고 실제 많은 추돌사고가 발생하고 있다.

자동차도로(이하 차도)에서는 왕복 2차로와 다차로로 구분할 수 있으며, 다차로의 경우에는 자동차가 자전거를 앞지르기 할 때 차로변경이 가능하므로 상충의 위험성이 일반적으로 적다. 반면 왕복 2차로는 대향차로의 차량이 존재하지 않을 때 앞지르기를 해야 하므로 최소한의 회피경로를 통한 측면충돌이 발생하게 된다.

이외에 자전거보행자겸용도로는 자전거와 보행자가 후미 및 측면상충이 발생한다. 그러나 자전거보행자겸용도로는 2000년대부터 자전거도로의 확대를 위해 임시적으로 기존의 보행자도로를 활용하여 설치된 자전거도로 형태이다. 자전거보행자겸용도로는 자전거와 보행자가 끊임없이 상충이 발생하게 되어 현실적으로는 자전거와 보행자 모두 통행이 어렵다. 이에 대부분의 지자체에서는 자전거보행자겸용도로를 단계적으로 축소하고 자전거전용도로 등으로 유형을 변경하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 자전거보행자겸용도로는 연구의 공간적 범위에 포함시키지 않았다.

최근 교통사고 통계(경찰청, 2015)를 보더라도 자전거 교통사고는 자동차가 60.3%로 가장 많은 것으로 나타났으며, 보행자(23.8%)사고와 자전거(14.9%)사고가 뒤를 잇고 있다.

<표 1-1> 자전거 교통사고 통계(경찰청, 2015)

구분		발생건수	구성비(%)
1당사자	2당사자		
자전거	자동차	3,259	60.3
	자전거	807	14.9
	건설기계, 농기계	21	0.4
	보행자	1,286	23.8
	기타	34	0.6
합계		5,407	100

* 자동차에서 이륜, 원동기는 제외

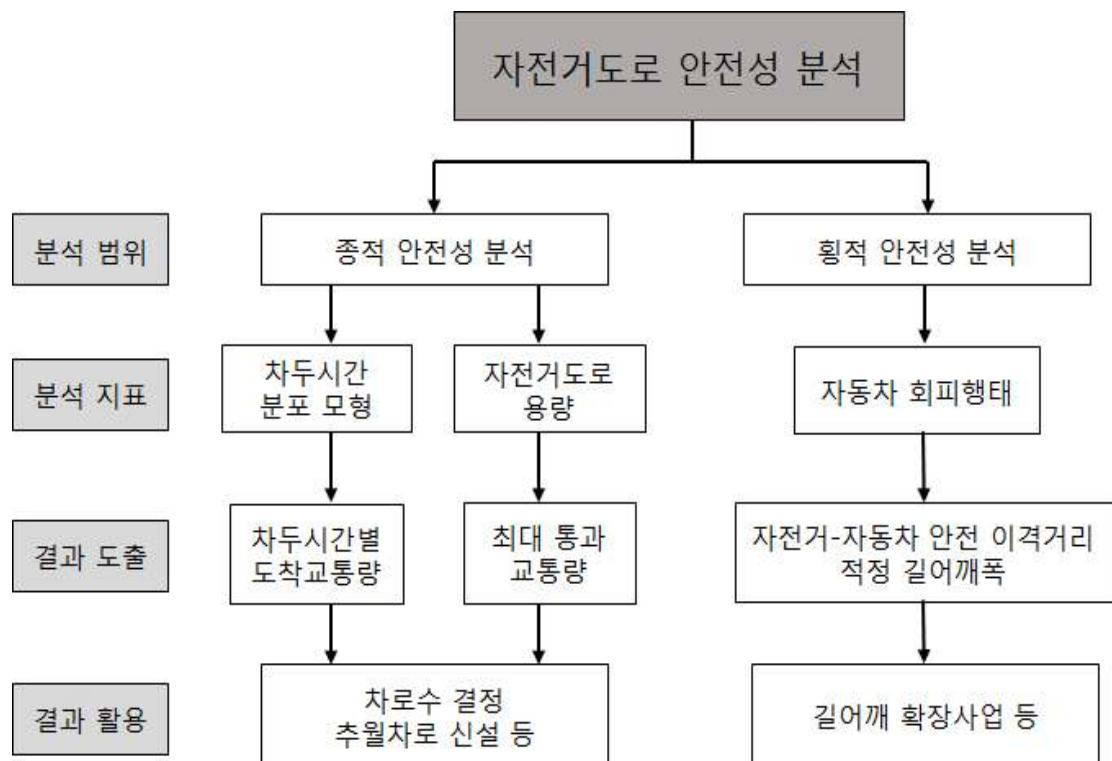
따라서 자전거 통행구간의 구분에 따라 본 연구의 공간적 범위 및 범위에 따른 연구방법을 정리하여 도식화하면 <그림 1-1>과 같다. 종적 주행안전성 측면에서 자전거도로에서는 차두시간 분포와 도로용량을 제시하며, 횡적 주행 안전성 측면에서 자동차도로에서 자전거와의 안전 이격거리 및 회피를 최소화할 수 있는 길어깨폭을 산출하고자 한다.



<그림 1-1> 연구의 공간적 범위 및 내용

본 연구의 최종적인 목표는 자전거의 종적, 횡적 범위에 따른 안전성

분석을 수행하는 것이다. 이를 위해 종적 안전성 분석에서는 분석지표를 차두시간 분포모형과 자전거도로 용량을 선정하였고, 횡적 안전성 분석에서는 자동차 회피행태를 선정하였다. 각 분석지표별 결과는 먼저 차두시간 분포모형에서는 차두시간별 도착교통량을 확률적으로 구할 수 있고, 자전거도로 용량에서는 구간을 통과할 수 있는 최대교통량을 제시하였다. 자동차 회피행태에서는 자전거와 자동차의 안전이격거리 및 적정 길어깨폭을 제시하였다. 본 연구의 종적 안전성 분석에 대한 최종 결과물은 차로수 결정과 추월차로 신설 등 기하구조 결정 및 개선을 위한 정책결정 지원에 활용될 수 있으며, 횡적 안전성 분석에 대한 최종 결과물은 자전거의 안전을 위한 길어깨 확장사업 등에 활용될 수 있다. 연구의 분석범위 및 분석지표, 결과도출, 결과활용에 대한 수행절차를 도식화하면 <그림 1-2>와 같다.



<그림 1-2> 연구의 내용적 범위에 따른 수행절차

제3절 연구의 수행체계

본 연구는 연구의 배경 및 목적, 이론 및 선행연구 고찰, 종적 주행 안전성 측면에서의 연속 자전거교통류 차두시간 분포모형 방법론, 연속류 자전거도로 용량분석, 횡적 주행 안전성 측면에서의 자동차의 자전거 회피특성분석, 결론 및 향후 연구로 수행되며, 연구의 수행체계는 <그림 1-3>과 같다.

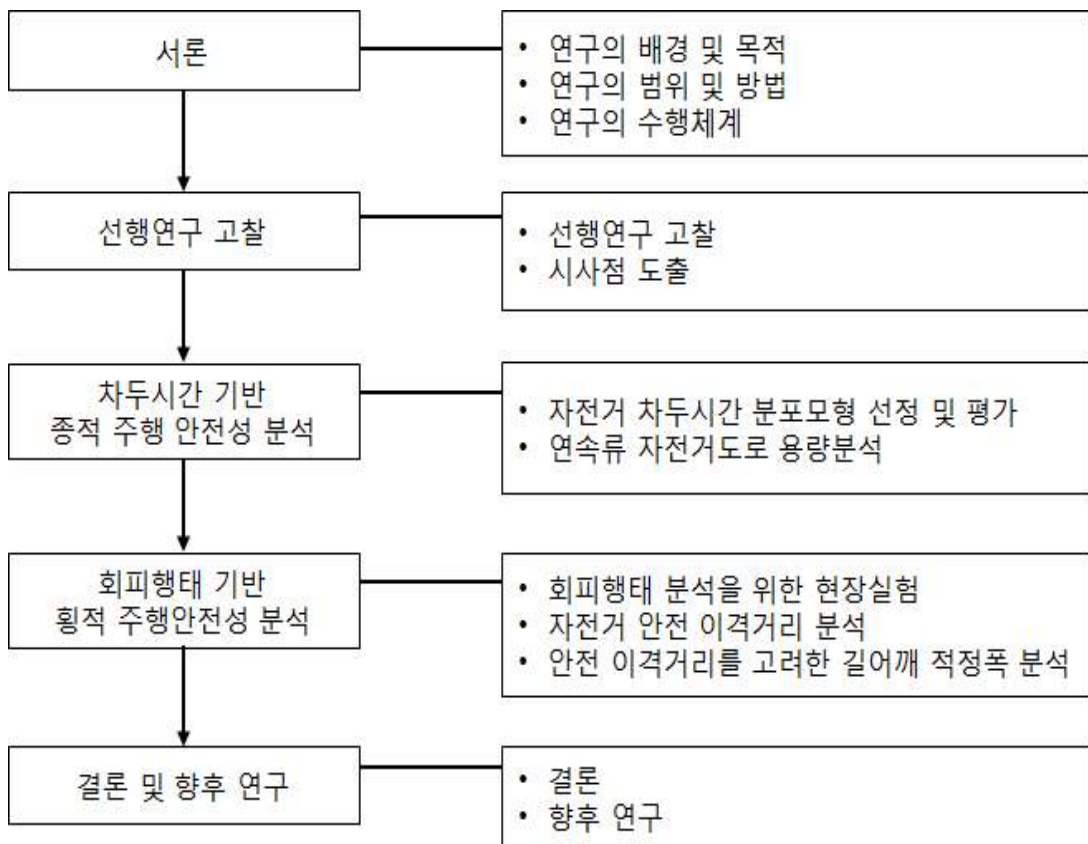
2장에서는 자전거교통류의 차두시간 분포 모형과 자전거 용량분석 연구, 자전거와 자동차의 회피행태에 대한 선행연구를 고찰하였다. 그리고 선행연구들의 고찰 내용을 바탕으로 기존 연구의 한계 및 문제점을 도출하고 본 연구의 차별성과 기여를 분석하였다.

3장에서는 종적 주행 안전성 측면에서 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포모형을 선정하고, 실제 현장자료를 통해 적용가능성을 검토해보았다. 차두시간 분포모형에 포함된 항목은 관측된 자전거교통류의 차두시간 데이터의 적용범위와 모형적용을 위한 교통량의 구분, 기존의 기초적 모형과 전이된 모형의 적용이다. 또한 국내 연속류 자전거교통류의 도로용량을 산출하기 위한 방법론을 제시하고 현장자료를 수집하여 도로용량을 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 혼잡상태를 모사할 수 있는 자전거 교통류군을 이용하여 용량을 산출하고자 하였다. 자전거 교통류군은 최소 3대 이상의 교통류로 정의하고, 각 교통류군의 평균 차두시간은 교통류군을 대표한다고 가정하였다. 전체 189개의 자전거 교통류군을 대상으로 자전거도로의 용량을 산출하고자 하였으며, 전체 자전거 교통류군의 차두시간에 대한 평균값을 통해 용량을 산정하는 방법을 적용하였다.

4장에서는 차도에서 자전거의 주행시에 자동차의 회피행태에 대해 분석하였다. 먼저 왕복2차로 도로에서 자전거를 추월하는 자동차의 이격거리를 분석하고, 이를 통해 자동차와 자전거의 안전 이격거리를 제시하였다. 또한 자전거운전자의 적극적인 안전성향상을 위해, 자동차가 자전거

를 회피하지 않고 주행할 수 있는 길어깨폭을 산출하였다.

마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론 및 시사점, 개발된 모형 및 수치의 활용방안, 연구결과의 한계 및 향후 고도화를 위한 연구 과제를 제시하였다. 본 연구의 수행체계를 연구항목과 각 항목별 연구내용으로 정리하면 <그림 1-3>과 같다.



<그림 1-3> 연구의 수행체계

제2장 선행연구 고찰

제1절 선행연구의 고찰

1. 선행연구의 선정 및 체계

최근 체육학, 마케팅, 디자인, 환경학 등에서 자전거이용자들에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 최근의 연구에서 안균섭(2015)은 자전거 타기가 자전거이용자들의 일반적인 생활, 즉 여가와 직무 및 생활만족에 끼치는 영향을 분석하였고, 그 결과 자전거를 타는 행위가 여가와 생활, 직무 만족도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 제시하였다. 이러한 결과는 단순히 신체적 건강뿐만 아니라 심리적, 교육적, 사회적, 휴식적, 환경적인 만족을 이루게 하며, 직무능률성과 직무성과 같은 직무만족도에도 영향을 끼친다는 것을 보여주고 있다. 또한 이재웅(2014)의 연구에서는 서울시에서 운영중인 무인 공공자전거 대여기의 디자인 요소가 사용편의성에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과 조작하는 부분에 대한 물리적, 인지적인 요소들이 중요한 영향을 끼치며, 자전거이용자의 심리적 안정감을 줄 수 있는 디자인 요소가 사용편의성에 큰 영향력을 미친다는 것을 제시하고 있다. 이러한 다양한 분야의 자전거 및 관련 인프라에 대한 연구는 자전거이용을 활성화하기 위한 기초적인 자료로 활용될 수 있다.

하지만 공학분야에서의 자전거 교통류의 특성에 관한 기존 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 거의 이루어지지 못하고 있다. 그 이유는 첫째, 자전거는 주요 교통수단이 아니라 단지 레저수단으로서 교통류분석의 필요성이 부족하다는 인식이 있으며, 둘째로는 자전거교통량과 자전거사고가 많지 않아 안전성에 대한 관심의 부재로 인해 관련된 연구가 이루어지지 못하였다.

이러한 연구의 부족으로 인해 자전거도로 등 관련 시설의 계획과 설계뿐만 아니라, 자전거운전자의 통행과 안전을 정량적으로 측정하는 것은

사실상 어렵다. 반면 자동차 교통류의 특성분석은 기초적인 차두시간 모형분석과 상충분석, 도로용량분석 등이 다양하게 이루어졌으며, 현재까지도 많은 연구가 이루어지고 있다. 우리나라뿐만 아니라 국외에서도 자전거교통량은 급격히 증가하고 있고, 그에 따른 교통사고도 증가하고 있어, 점차 자전거간의 교통류분석과 자전거와 자동차간의 교통류분석에 대한 연구가 조금씩 이루어지고 있다.

본 선행연구 고찰에서는 차두시간과 관련한 자전거 및 자동차의 일반적인 연구를 분석하여 자전거교통류의 차두시간 분석모형에 대한 이론적 배경을 설명하였다. 또한 자전거교통류의 용량분석 및 자동차와 자전거의 이격거리와 관련한 연구를 분석하고 본 연구와의 차별성 및 기여도를 제시하였다. 내용적으로는 국내 자전거도로의 안전성 분석을 종적과 횡적 교통류로 구분하여 시행하였다. 종적 안전성 분석은 교통류간의 종적 관계를 설명하는 차두시간 분포모형과 도로용량을 제시하였으며, 횡적 안전성 분석은 자동차가 자전거를 추월할 때 발생하는 회피행태에 따른 안전 이격거리와 회피행태를 최소화할 수 있는 적정 길어깨폭을 제시하였다. 본 절에서는 안전성 분석 구분에 따라 선행연구를 고찰하였다.

2. 종적 주행 안전성 분석 연구

① 차두시간 분포 모형 연구

차두시간 분포 모형에 대한 연구는 대부분 자동차교통류의 연구에 집중되어 있으며, 많은 연구에서 도로구간의 특성(차로수, 토지이용특성 등)에 따라 음지수분포, 전이된 음지수분포, Erlang분포 등을 제시하고 있다. 반면 자전거교통류에 대한 차두시간 분포 모형에 대한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 제한적이다. 따라서 본 선행연구 고찰에서는 주로 자동차 교통류의 차두시간 분포 모형에 관한 연구에 대해서 분석하였고 모형구축을 위한 방법론에 적용해보고자 하였다.

Zhang et al.(2007)은 시애틀의 간선도로(I-5)에 설치되어 있는 교통량

분석 시스템(Advanced Loop Event Data Analyzer, ALEDA)의 자료를 이용하여 기본차로(Regular Lane)와 HOV차로의 차두시간 모형을 분석하였다. 단일(Single)모형은 Lognormal분포와 Gamma분포를 적용하였으며, 감마분포의 매개변수에 따라 음지수분포와 전이된 음지수분포를 적용하였다. 복합(Mixed)모형은 Cowan M3모형과 Cowan M4, 그리고 Double Displacement 음지수분포를 적용하였다. 실제 데이터와 모형간의 검정은 카이스퀘어검정 검정과 K-S검정(Kolmogorov-Smirnov)검정을 검토하였으며, 카이스퀘어 검정은 일부 데이터간의 약한 적합도에 의해 쉽게 결과가 나빠지는 단점으로 인해 K-S검정을 수행하였다. 분석결과 기본차로와 HOV차로는 차두시간 분포가 다르며, 기본차로에서는 전이된 Lognormal분포가 적합한 것으로 나타났고 HOV차로에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 반면 중복치환 음지수분포는 기본차로와 HOV차로 모두에게 적합한 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 간선도로를 대상으로 한 모형이므로 다른 유형의 도로에 적용할 경우 정산(Calibration)이 필요함을 제시하였다.

문재필과 김동녕(2014)은 지방부 2차로도로를 대상으로 기존의 차두시간분포모형 적합여부를 제시하였다. 차두시간은 교통량의 수준에 따라 달라지므로 낮은 교통량 수준의 경우 무작위(Random) 차두시간 분포, 높은 교통량 수준의 균일분포, 실제적으로 자주 발생하는 무작위와 균일 차두시간 상태사이에 위치하는 중간 차두시간 형태로 구분하여 분석하였다. 수학적 모형은 Person Type III분포와 매개변수에 따라 Gamma분포, Erlang분포, 음지수분포, 전이된 음지수분포 등으로 구분하였으며, Schul 모형 등을 2차로도로의 현장데이터와 비교분석하였다. 총 11개 지점에서 7개 모형에 대해 카이스퀘어검정을 통해 적합도를 검정하였으며, 전체적으로 교통량 범위를 만족시키는 모형은 없는 것으로 나타났다. 이에 기존 Schul모형을 0.5초 전이하여 Shifted Schul Model을 제시하였으며, 3개 지점을 제외하고는 관측치와 이론치간에 차이가 없는 것으로 나타났다.

김점삼과 박창호(2006)는 개별차량의 차두시간분포 분석을 통해 고속도로에서의 설계용량 산정모형을 개발하고자 하였으며, 본 연구에서 참고한 부분은 고속도로의 용량산정을 위해 적용한 차두시간 분포특성 및 모형에 관한 부분이다. 차두시간 분포특성을 분석하기 위하여 미국 FHWA의 차량간섭 연구를 위한 고속도로 수집자료를 사용하였다. 수집 대상구간은 캘리포니아의 U.S. 101과 I-405이며, 시뮬레이션 소프트웨어 ProModel을 이용하여 속도별 추출된 차두시간의 통계적 분포를 추정하고 통계적 검정을 수행하였다. 속도별 도수가 15개 이하 또는 차두시간이 0.5초 이하인 자료는 분석에서 제외하였다. 차두시간의 통계적 분포추정에 사용된 확률밀도함수는 음지수분포, 정규분포, 감마분포, Pearson type V이며, 분석결과 Pearson type V 분포의 형태로 추정하였을 경우 통계적 검정값이 가장 우수한 것으로 나타났다.

Minh et al.(2005)은 이륜자동차(Motorcycle)에 대해 베트남 하노이의 4개 현장데이터를 이용하여 속도-교통량 관계를 파악하고 차두시간을 분석하였다. 1,106대의 데이터의 차두시간을 0.5초 단위로 수집하였으며, 최소 0.34초에서 최대 4.31초인 것으로 나타났다. 수집된 데이터의 50% 이상이 0.5초에서 1.0초에 위치하여 일반적인 차량의 차두시간에 절반 정도인 것으로 제시하였다. 위 연구는 이륜자동차에 대한 실험결과이긴 하나 자전거교통류의 분석방법 검토 등에 참조가 가능하다.

이 외에도 Akcelik and Chung(2003)은 Roundabout에서 기존의 음지수분포에서 응용된 Bunched Negative Exponential을 차두시간모형으로 제시하였으며, Luttinen(1999)은 비신호교차로에서의 차두시간 모형으로 Cowan의 M3 분포가 적절하다고 제시하였다. Griffiths and Hunt(1991)은 도시지역에서의 차두시간 분포는 Double Displaced 음지수분포가 현상을 잘 묘사한다고 제시하였으며, Ovuworie et al.(1980)은 지방부 도로에서 교통류의 간섭정도(추종과 비추종)에 따라 모형을 구분하여 Truncated Gaussian 분포와 음지수분포를 차두시간 분포모형으로 제시하였다.

또한 Khasnabis and Heimbach(1980)는 지방부 2차로도로의 차두시간 분포모형을 개발하였으며, 그 결과 기존의 음지수분포나 Pearson Type III, Schuhl 등은 적합하지 않고 수정된 Schul모형이 적절한 모형으로 제시하였다. Yin et al.(2009)는 교통상황을 구분하여 차두시간 분포모형을 제시하였으며, 자유교통류 상태에서는 Log-normal 분포모형이 적합하고 혼잡상태에서는 Log-logistic 분포모형이 적합한 것으로 제시하였다. Al-Ghamdi(2001)은 도시부도로의 혼잡한 상태에서의 차두시간 분포모형을 분석하였으며, 그 결과 Erlang 분포가 가장 적합한 것으로 제시하였다. 차두시간 분포모형의 선행연구에 대한 모형의 적용범위와 최종 적용된 모형을 정리하면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 차두시간 분포모형의 선행연구 고찰결과

구분	적용 범위	적용 모형
Zhang et al. (2007)	· Interstate Highway	· 기본차로 : Shifted Lognormal, Double Displacement · HOV차로 : Double Displacement
문재필과 김동녕 (2014)	· 지방부 2차로도로	· Shifted Schul
김점삼과 박창호 (2006)	· Interstate Highway	· Person Type V
Akcelik and Chung (1994)	· Roundabout	· Bunched Negative Exponential
Luttinen (1999)	· 비신호 교차로	· Cowan M3
Griffiths and Hunt (1991)	· 도시부 도로	· Double Displaced Negative Exponential
Ovuworie et al. (1980)	· 지방부 도로	· Truncated Gaussian · 음지수분포
Khasnabis and Heimbach (1980)	· 지방부 도로	· Modified Schul

Yin et al. (2009)	· 지방부 도로	· 자유교통류 : Lognormal · 혼잡교통류 : Log-logistic
Al-Ghamdi (2001)	· 도시부 도로	· Erlang

② 자전거도로 용량분석 연구

자전거의 용량분석에 대해서는 1970년대부터 국외를 중심으로 조금씩 연구가 이루어져 왔으며, 국내에서도 유사한 연구가 수행된 바가 있다. Raksuntorn and Khan(2003)은 신호교차로 접근로(On Street)의 자전거도로 포화교통유율(Saturation Flow Rate)에 대해 현장실험을 통해 제시하고자 하였다. 특히 자전거교통의 특성상 차로폭에 따라 1대 이상의 자전거 대기행렬이 존재한다는 점에 착안하여 보조차로(Sublane)의 개념을 도입하였다. 3.6m(12ft)의 차로폭과 2.4m(8ft)의 자전거폭을 가진 교차로에서 포화차두시간(Saturation Headway)은 0.8초로 관측되었고, 이를 통해 포화유율은 4,500대/시로 산정되었다. 또한 자동차와 자전거의 이격거리를 측정하여 2.4m의 자전거도로에는 3대의 자전거가 동시에 대기할 수 있고 1.8m(6ft)의 자전거도로에는 2대의 자전거가 대기하는 것으로 나타났다. 우리나라의 자전거도로와 유사한 폭(1.53m)에서는 3,000대/시로 산출되었다. 위 연구에서는 자전거도로의 폭과 보조차로의 수에 따른 포화유율을 제시하였으며, 각 보조차로당 포화유율은 1,500대로 제시하였다.

Li et al.(2014)은 기존의 자동차교통류에서 적용되는 속도, 교통량, 밀도 그래프를 이용하여 자전거교통류의 용량을 제시하고자 하였다. 자전거교통류는 혼잡교통류(Congested Traffic Flow)가 관측되지 않으므로 차로가 감소되어 병목현상이 발생하는 4개 도로구간의 교통류를 측정하였다. 데이터의 수집방법은 일정거리를 띄운 2개 지점에서 통과시간을 측정하여 속도를 조사하고, 누적곡선(Cumulative Curve)을 도식화하여 동일시간의 차이를 측정하여 밀도를 조사하고 기울기를 측정하여 교통량

을 수집하였다. 교통량의 집계시간은 5초, 15초, 30초, 60초 단위로 집계하여 비교하였고, 15초를 연구를 위한 집계단위로 선정하였다. 교통량-밀도 그래프를 이용하여 자전거도로의 용량을 측정하였으며, 1차로에서는 3,960대/시가 산출되었고 2차로에서는 8,100대/시가 산출되었다.

이 외에도 자전거도로의 용량에 대해 Homburger(1976)는 미국 캘리포니아의 Davis에서 시행한 연구에서 3.3ft(1m)의 자전거도로에서 용량은 거의 2,600대/시에 이르는 것으로 제시하였다. Ferrara(1975)는 자전거도로 폭에 따라 용량을 시뮬레이션을 통해 계산하였으며, 1.2m(4ft)에서 3,060대/시의 용량이 산출되었다. 스웨덴의 용량편람(Vagverk, 1977)에서는 자전거도로 계획에 사용되는 용량을 1.2m 기준으로 1,500대/시를 제시하고 있으며, 캐나다의 Navin(1994)는 2.5m 기준으로 용량을 10,000대/시로 제시하고 있다. 중국의 Liu et al.(1993)은 1m의 자전거도로 폭을 기준으로 용량을 1,800대/시에서 2,100대/시로 제시하고 있으며, 네덜란드의 Botma(1995)는 2m의 자전거도로 폭에서의 용량은 6,400대/시, 3m폭에서의 용량은 9,600대/시로 제시하고 있다. 네덜란드의 Stembord(1991)는 0.78m의 자전거도로 용량을 3,000대/시에서 3,500대/시로 제시하고 있다.

국내에서는 손영태 등(2002)은 자전거교통류의 연속류 상태에서의 속도와 밀도, 교통량 관계를 통해 용량을 제시하고, 단속류 상태에서의 포화교통류율을 제시하고자 하였다. 기존의 자전거도로에서는 자전거이용자의 부족으로 데이터를 수집할 수 없어 실험자를 통한 Test-Track을 통해 연속류와 단속류를 모사하여 실험하였다. 실험 및 분석결과 1.5m의 폭에서는 2,610대/시로 제시되었다. 요약하면 국내의 자전거도로의 최소폭인 1.2m를 기준으로 할 때, 대부분 1,500대/시에서 3,960대/시로 용량을 제시하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 고찰한 대부분의 자전거도로 용량에 대한 연구는 국가별로 자전거도로의 폭이 상이하고, 신호교차로 등의 단속교통류와 강변 등의 연속교통류인가에 따라 제시된 용량값에 차이가 있다. 이는 자전거도

로의 용량은 차도와 달리 앞지르기가 가능할 뿐만 아니라 신호교차로에서 대기행렬을 형성할 때 2대 이상이 나란히 대기하는 등 기본적으로 차도와 다른 특성을 보이기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 분석하고자 하는 자전거도로의 기하구조(폭, 도로형태 등)와 운영방법(단속류, 연속류 등)에 따라 용량값은 차이가 있을 수 있다. 국내·외 자전거도로의 용량을 자전거도로폭에 따라 정리하면 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 자전거도로 용량의 선행연구 고찰결과

구분	자전거도로 폭	자전거도로 용량(대/시)
Raksuntorn and Khan(2003)	1.53m(5ft)	3,000
Li et al.(2014)	1.2m	3,960
Homburger(1976)	1m(3.3ft)	2,600
Ferrara(1975)	1.2m(4ft)	3,060
Vagverk(1977)	1.2m	1,500
Navin(1994)	2.5m	10,000
Liu et al.(1993)	1m	1,800~2,100
Botma(1995)	2m	6,400
	3m	9,600
Stembord(1991)	0.78m	3,000~3,500
손영태 등(2002)	1.5m	2,610

3. 횡적 주행 안전성 분석 연구

횡적 안전성 분석과 관련한 자동차의 자전거 회피에 관한 연구는 국외에서 일부 수행된 내용을 제외하고는 제한적이다.

Garcia et al.(2015)은 스페인의 지방부 도로에서 자동차와 자전거의 주행 중 측방이격거리를 기하구조(직선, 좌로 굽은 곡선, 우로 굽은 곡선)별, 차로폭과 길어깨폭의 합별로 실험을 통해 분석하였다. 주행 측방이격거리의 측정을 위해 레이저센서와 3개의 비디오 카메라, GPS 등이 장착된 자전거를 개발하였다. 스페인의 지방부 2차로도로 7개 구간(차로폭과 길어깨폭의 합이 3.75m에서 5.65m)을 왕복하여 자료를 수집하였으며, 자전거는 스페인의 법에 따라 길어깨 가운데로 주행하였다. 실험과 분석결과, 측방이격거리는 차로폭과 길어깨폭 합이 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났으며, 실험자전거의 형태(경기용자전거, 산악용자전거)에 따라서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 직선과 좌로 굽은 곡선, 우로 굽은 곡선을 이격거리와 비교해본 결과 좌로굽은 곡선에서 이격거리가 가장 크게 나왔으며, 직선과 우로 굽은 곡선이 그보다 작은 것으로 나타났다. 스페인에서는 법에 따라 자동차가 자전거를 추월할 때 1.5m 이상을 이격해야 하며, 이를 분석한 결과 자동차의 절반정도는 이를 어기는 것으로 나타났다. 본 연구는 자전거가 자동차와 평행하게 주행할 때 잠재적으로 위험한 기하구조 요소를 찾고자 하였으며, 이를 통해 도로설계시에 자전거를 고려한 설계기준을 적용할 수 있는 데이터를 제공하고자 하였다.

Harkey and Stewart(1997)에서는 주(州) 내의 3가지 도로 형태인 연석(Wide Curb Lane), 길어깨(Paved shoulder), 전용차로(Bicycle Lane)에 대해 자동차가 자전거를 추월할 때 이격거리를 측정하여 자전거도로 형태별로 상충을 조사하였다. 자전거도로 형태별, 도시/지방부 별로 총 13개 지점에서 자동차와 자전거의 이격거리가 비디오카메라를 이용하여 측정되었다. 분석결과 연석인 상태의 도로에서 이격거리가 가장 큰

1.95m(6.4ft)로 나타났으며, 길어깨는 1.89m(6.19ft)이고 전용차로는 1.81m(5.93ft)로 나타났다.

본 연구에서는 차도에서 자동차와 자전거의 회피행태에 대한 분석을 통해 자동차와 자전거의 안전 이격거리 및 회피거리가 최소화하는 안전 길어깨폭을 제시하고자 하였다. 선행연구로 고찰한 Garcia et al.(2015)과 Harkey and Stewart(1997)의 연구는 방법론 등에서 참고할 수 있으나, 국내와 국외의 운전자들의 행태는 동일하다고 볼 수 없으므로 국내에 적합한 안전 이격거리의 제시가 필요할 것으로 판단된다. 자동차의 자전거 회피행태를 기하구조 조건과 평균 이격거리에 대해 정리하면 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> 자동차의 자전거 회피행태의 선행연구 고찰결과

구분	기하구조 조건	평균 이격거리
Garcia et al. (2015)	· 직선, 좌로 굽은 곡선 · 우로 굽은 곡선	· 1.5m
Harkey and Stewart (1997)	· 연석(Wide Curb Lane) · 길어깨(Paved Shoulder) · 전용차로(Bicycle Lane)	· 연석 : 1.95m(6.4ft) · 길어깨 : 1.89m(6.19ft) · 전용차로 : 1.81m(5.93ft)

제2절 시사점 도출

1. 선행연구 시사점 검토

국내뿐만 아니라 국외에서도 자전거교통류의 차두시간 분포모형, 도로 용량, 이격거리 등에 관한 연구는 제한적이다. 반면 자동차교통류의 관련 연구는 많은 연구결과가 기존에 많이 제시되어 있으며, 최근에는 새로운 방법론을 적용한 연구만이 추가적으로 소개되는 경향이 있다.

자전거교통류의 차두시간 분포모형에 대한 연구는 제한적이며, 자동차교통류의 차두시간에 대해서도 최근에는 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 이는 여러 가지의 이유가 있을 수 있으나, 대체적으로 자동차교통류의 차두시간 분포모형은 조사방법과 적용방법론 등 이론적인 측면에서 거의 완성되었기 때문일 것으로 판단된다. 그러나 자전거교통류는 제시된 차두시간 분포모형 등 교통류 자체에 대한 제한적이기 때문에 기존 연구에서는 직접적인 도움을 받을 수 없었다.

자전거도로의 용량에 대한 연구는 1970년대부터 조금씩 이루어져 왔으나 제시된 값의 범위가 매우 크다. 이는 자전거교통류의 특성상 운전자 개인의 능력과 주위 교통류와의 상충 등이 상이한 점도 제시된 도로용량의 범위를 크게 만드는 이유이기도 하다. 하지만 무엇보다도 도로용량 산정에 가장 중요한 현장요소인 포화교통류(Saturation Flow Rate) 상태가 관측되지 않음으로 인해 도로용량값이 유사한 값으로 수렴하지 못하는 점도 중요한 이유 중의 하나이다. 이로 인해 시뮬레이션 분석을 통한 자전거도로의 용량을 제시하는 방법이 제시되고 있으나, 산출된 데이터의 검증(Validation)에 필요한 혼잡상태의 데이터 부재로 인해 실제 적용성은 떨어진다.

선행연구에서 최근 Li et al.(2014)은 포화교통류 상태를 관측하기 위해 차로수가 감소하는 구간을 대상으로 선정하여 교통량-밀도 그래프를 이용한 용량을 제시한 바 있다. 이는 일시적으로 기하구조에 의해 자전거교통류의 혼잡상태를 측정하는 방법이나, 교통량이 부족하여 비교적 짧은 15초 단위로 설정한 값을 사용하여 정확성이 부족하다. 또한 손영태 등(2002)의 연구에서는 속도와 교통량, 밀도 그래프와 신호교차로의 차두시간을 통해 도로용량을 제시한 바 있으나, 이는 실험조건하에서 도출된 결과로 실제 현장의 교통류의 특성을 반영하지 못하였다.

자동차의 자전거 회피행태에 관한 연구는 스페인과 미국에서 유사한 연구가 수행되었다. 스페인의 연구는 주행하는 자전거에 센서를 장착하여 추월하는 자동차와의 이격거리를 산출하여 기하구조와의 연관성을 과

악하는 내용으로, 본 연구에서 제시하고자 하는 회피행태의 최소화에 따른 길어깨폭 산출과는 상이하다. 미국의 연구에서는 길어깨가 존재하는 도로구간에서 자전거를 추월하는 자동차의 이격거리를 산출함으로써 본 연구에서 수행하고자 하는 안전 추월거리와 개념이 유사하다. 그러나 자동차의 회피행태 최소화를 통한 길어깨폭 산출에 대한 개념은 없고, 단지 추월거리가 어느 정도인지에 대해서만 실험결과를 분석하였다.

지금까지 본 연구에서 수행하고자 하는 3가지 주제(자전거도로 분포 모형, 도로용량, 안전이격거리 및 안전 길어깨폭)에 대해 유사한 국내외 연구를 살펴보았다. 자전거도로 분포모형에 대한 연구는 전무하며, 자전거도로 용량에 대한 논문은 국외에서는 많이 연구되고 있으나, 방법론이 너무 상이할 뿐 아니라 도로용량의 범위가 너무 광범위하여 국내에 곧바로 적용하기에는 무리가 있다. 안전이격거리 및 길어깨폭 산출에 대해서는 국외에서 일부 연구가 있으나, 자동차와 자전거의 이격거리에만 집중하여 안전개념을 적용한 이격거리 및 길어깨폭 산출에 대해서는 제한적이다.

2. 본 연구의 차별성 및 기여

자전거교통류에 대한 기존의 국내외 연구결과는 실제 국내에 적용하기에는 연구의 범위와 내용 측면에서 부족하다. 특히 국내의 자전거도로를 대상으로 한 연구결과는 제한적이어서, 도로용량편람이나 관련 지침 등의 제·개정시에 활용할 수 있는 내용이 부족하다. 따라서 본 연구는 국내 자전거도로 분야의 기초적인 연구라는 측면에서 다음과 같은 차별성과 기여를 설명할 수 있다.

첫째, 학술적으로 자전거교통류의 분석에 필요한 가장 기초적인 요소를 제시하고 있다. 교통류에 대한 연구에서 가장 중요한 차두시간 분포와 용량, 타 교통류와의 상충에 대한 연구결과를 제시함으로써 자전거교통류에 대한 연구범위를 확대할 수 있다. 특히 모든 연구결과를 현장조

사와 실험을 통한 경험적(Empirical)인 방법으로 수행하여, 실제 현장에 적용할 수 있도록 하였다.

둘째, 시대적으로 자전거이용자가 급증하고 있고 그에 따른 교통사고 역시 증가하고 있다. 자전거 교통사고를 줄이기 위해서는 도로 기하구조 측면에서 도로의 신설 또는 확장, 기존 도로의 선형개량, 추월차로와 양보차로 등 운영기법의 적용 등이 필요하다. 이를 위해서는 자전거도로의 설계 및 운영기준의 제·개정 등이 이루어져야 하나, 자전거교통류에 대한 연구는 거의 없다. 본 연구에서 제시하는 자전거교통류의 차두시간 분포, 도로용량, 자동차와 자전거의 안전 이격거리 등에 대한 연구결과는 향후 자전거도로와 관련한 많은 정책시행에 기초가 될 것이다.

마지막으로 사회적으로 자전거와 같은 교통약자에 대한 관심의 증가이다. 지금까지는 주로 자동차교통류에 대한 연구 및 실험이 이루어졌으며, 모든 정책방향 역시 자동차교통류에 대한 대책이 중심이었다. 본 연구에서 제시한 자전거교통류의 기초적인 분석방법론 및 연구결과는 자전거교통류에 대한 안전성 확보 등에 활용될 뿐 아니라 보행자 등 교통약자에 대한 연구방법론에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

제3장 차두시간 기반 종적 주행 안전성 분석

제1절 개요

본 연구는 교통류 특성분석을 통한 자전거의 주행 안전성에 관한 분석을 실제 현장조사와 실험을 통해 제시하고자 하였다. 자전거의 주행은 다시 자전거의 진행방향인 종적 주행과 횡단방향인 횡적 주행으로 구분하였다. 본 장에서는 먼저 자전거의 종적 주행에 대한 안전성 분석방법을 차두시간 분포모형과 용량분석을 통해 제시하고자 한다.

우리가 교통류에 관심을 가지고 분석하는 이유는 도로 등 교통시설을 계획하고 설계할 때 그 기준이 되기 때문이다. May(1990)은 교통류의 특성을 나타내는 기본요소는 다음과 같으며, 기본요소간에는 밀접한 관계가 있는 것으로 제시하고 있다.

- 속도(Speed) 및 통행시간(Travel Time)
- 교통량(Volume) 또는 교통류율(Flow Rate) 및 그의 역수인 차두시간(Time Headway)과 차량간의 차간시간(Gap)
- 교통류의 밀도(Density) 및 그의 역수인 차두거리(Spacing)

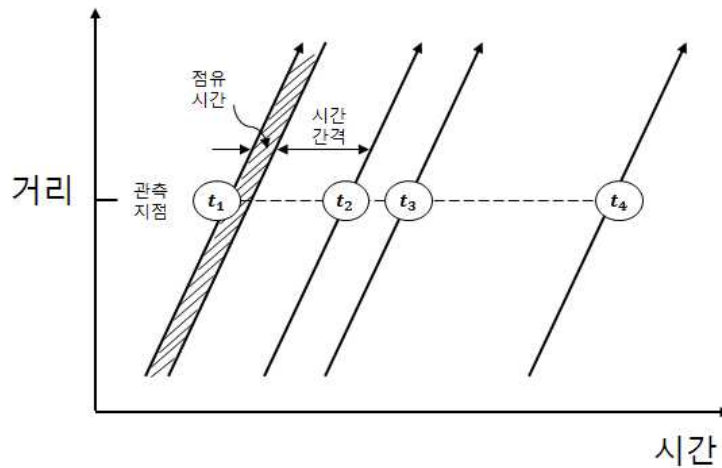
일반적으로 차두시간은 특정한 지점을 통과하는 연속된 차량의 통과시간 간격을 의미하며, 앞차의 앞부분이나 뒷부분과 뒤 차의 앞부분이나 뒷부분까지의 시간 간격이다. 그러므로 평균 차두시간은 평균 교통류율의 역수이다. 평균 교통류율과 차두시간간에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\bar{h} = \frac{3600}{\bar{q}} \quad \begin{array}{l} \bar{h} = \text{평균차두시간(초)} \\ \bar{q} = \text{평균교통류율(vph)} \end{array}$$

일반적인 차두시간의 분포는 <그림 3-1>과 같이 시간과 거리의 관계에서 개별 차량의 궤적으로 표현된다. 각 차량의 관측지점에서 도착시간은

t_1, t_2, t_3, t_4 라고 할 때, 차량간의 경과시간(elapsed time)을 차두시간(time headway)이라고 정의할 수 있으며, 식(3-1)과 같이 표현할 수 있다.

$$(h)_{1-2} = t_2 - t_1, \quad (h)_{2-3} = t_3 - t_2, \quad etc. \quad \text{식(3-1)}$$



<그림 3-1> 시간-거리 관계에서의 차두시간 개념(May, 1990)

자전거도로를 주행하는 자전거이용자는 종적(Longitudinal)으로 이동하는 타 자전거교통류와 지속적으로 상충이 발생하게 된다. 일정지점을 지나가는 자전거이용자는 선행하는 자전거와의 주행속도 차이로 인해 차두시간이 정해지고, 이러한 차두시간의 분포는 자전거도로 구간의 교통류의 특성을 나타내는 중요한 지표이다. 또한 포화차두시간을 형성하는 교통류의 역수는 한 지점을 일정시간동안 통과할 수 있는 최대 교통량을 의미하는 용량과 동일한 개념이다. 따라서 본 장에서는 자전거도로에서 자전거 교통수단의 종적 주행상에서 가장 중요한 지표인 차두시간 분포와 포화차두시간의 역수인 도로용량에 대해 제시하고자 한다.

차량간의 영향력에 따른 차두시간(Time Headway)은 도로의 안전성과 서비스수준(LOS), 용량(Capacity) 등을 평가할 수 있는 가장 중요한 지표중의 하나로 인지되고 있다. 앞차량과 뒷차량의 시간적 간격인 차두시

간은 급정거를 할 경우 교통사고로 연결된다는 점에서 중요한 안전 지표이며, 도로용량과 서비스수준 역시 도로의 설계와 소통 등에 영향을 미치는 지표이다. 이런 이유로 도로설계와 교통운영 분야에서는 차두시간과 차두시간 분포에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 도로구간별로 실제 차두시간을 측정하여 분석함으로써 도로설계와 교통정책 수립에 적용하고 있다.

그러나 자전거에 대한 차두시간 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 제한적이다. 자전거인구는 국내에서도 이미 누적기준 1,000만명이 넘는 것으로 추산하고 있으며, 기존의 자전거교통이 활성화된 덴마크와 네덜란드뿐만 아니라, 미국과 일본 등 대부분의 나라에서 자전거수단분담률이 증가하고 있다. 급증하는 자전거수요에 따라 자전거 교통사고 역시 증가하고 있어 자전거도로 등의 인프라구축 및 자전거교통류 처리 등의 정책이 시행되고 있으나, 정작 기본적인 자전거 차두시간 및 도로용량분석에 대한 연구는 제한적으로 이루어지고 있다. 이는 여러 가지 이유가 있을 수 있으나, 자전거 교통수단이 아직까지 정기적인 교통수단으로 인정받지 못하고 있고 교통사고의 예방 등에 대한 관심이 사회적으로 부족하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 도로구간의 용량은 도로신설 및 확대, 추월차로 등의 교통기법 등에 적용되는 중요한 요소이나, 아직까지는 국내에서 자전거도로의 용량에 대한 연구는 많이 부족하다.

따라서 본 장에서는 이론고찰에서 제시한 자동차교통류의 차두시간 분포 모형에 대한 내용을 반영하여, 자전거교통류에 적용이 가능한 차두시간 분포모형을 개발하고 평가하고자 한다.

제2절 자전거교통류의 차두시간 분포모형

1. 차두시간 분포모형 선정

① 방법론 정립

개요에서도 언급하였듯이 국내뿐만 아니라 국외에서도 자전거교통류의 차두시간 분포모형에 대한 연구는 거의 제한적이다. 따라서 본 절에서는 자전거교통류의 데이터 수집방법에서 최적모형 선정까지의 분포모형 적용을 위한 방법론을 제시하고자 한다. 먼저 연속류 자전거교통류가 관측되는 현장에서 주행영상을 취득하고, 영상분석을 위해 차두시간 분석 프로그램을 이용하여 개별 교통류의 차두시간을 추출한다. 자전거교통류의 특성에 따른 적정 차두시간 분포모형을 도출하기 위해 데이터 적용범위를 실험을 통해 산출하고, 교통량에 따른 교통류의 특성을 분석하기 위해 단위를 설정한다. 자전거 차두시간 분포모형에 적용할 모형을 정의하고, 관측치와 실측치를 검정하기 위해 카이스퀘어 검정을 수행한다¹⁾. 이를 단계별로 정리하면 다음과 같다.

[단계 1] 데이터 수집

연속류 자전거교통류의 주행영상 수집
차두시간 분석 프로그램을 이용한 데이터 취득

[단계 2] 데이터 필터링(Filtering)

자전거교통류 모의실험 수행을 통한 데이터 필터링
자전거교통류의 차두시간 분포모형에 적용될 데이터 범위 규정

[단계 3] 데이터 분류(교통량 기반)

자전거교통류의 교통량 분석단위 정의(High Traffic, Low Traffic)
정의된 알고리즘에 따른 데이터 구분 및 분류

[단계 4] 적용될 차두시간 분포모형 정의

1) 카이스퀘어 검정은 전체 모형의 설명력을 판단하는 방법으로, 특정 집단구간에 대한 설명력을 판단하기 위해서는 다른 검정방법을 적용해야 함.

정규(Normal), 음지수(Negative Exponential), 전이된 음지수
(Shifted Negative Exponential), 피어슨 III(Pearson Type III)

차두시간 분포모형의 매개변수(Parameter) 정산

[단계 5] 카이스퀘어 검정

최적 차두시간 분포모형 결정

② 분포모형 선정을 위한 가정

자전거교통류에 대한 차두시간 분포모형은 지금까지 선정된 사례가 없으므로 본 연구에서는 다음과 같이 자전거교통류의 특성을 구분하여 모형선정에 적용하였다.

1) 데이터의 적용범위

일반적으로 자동차교통류의 차두시간 분포모형에서는 현장조사를 통해 무작위로 도착한 교통류와 균일하게 도착한 교통류의 차두시간을 이용한다. 이는 비록 각각의 교통류들은 도착형태가 상이하지만, 교통량 등에 따라 앞 자전거와의 상호 영향력에 의해 차두시간이 결정된다는 가정이 기반이 된다.

반면 자전거교통류의 경우 촬영된 영상을 이용하여 차두시간 데이터를 관측하면서 자동차와 다른 자전거교통류의 특성을 인지할 수 있었다. 자동차교통류와는 달리 본 연구에서 자전거교통류의 촬영영상을 분석하면서 발견한 점은, 자전거교통류는 단지 교통량 등에 의해서만 차두시간을 형성하는 것이 아니라는 것이다. 즉, 자전거교통류는 가족이나 연인 등이 자전거군(群)을 형성하여 움직이는 경우가 많고, 이러한 교통류는 교통량에 의해서라기보다는 본인들이 차두시간을 선택하여 주행함을 의미한다.

이 사실은 자전거교통류 분석에 중요한 요소로 판단되는데, 운전자가 다른 특정한 자전거에 의해 차두시간이 결정되는 교통류는 교통류 흐름에 의해 차두시간을 부여받는 것이 아니라, 운전자가 차두시간을 선택하여 주행하는 형태라는 사실이다. 다시 말하면 운전자 본인이 차두시간이

선택된 교통류는 교통류의 상호 영향력에 의해 결정된 차두시간이 아니므로, 일반적인 교통류분석에서는 포함되어서는 안 된다²⁾.

이러한 교통류의 차두시간을 교통류분석에서 제외할 수 있는 방법은 촬영영상의 데이터분석 단계에서 적정성을 판단한 후에 데이터분석에 포함시키지 않는 것이 바람직하다. 그러나 실제 영상분석에서 주어진 차두시간을 이용하는 교통류와 사전에 연계된 교통류를 구분하는 것은 사실상 불가능하다³⁾. 따라서 자전거교통류의 차두시간 모형개발에서는 선택된 차두시간과 교통량 등에 의해 결정된 차두시간의 구분이 필요하며, 이를 결정하기 위한 과정이 포함되어야 한다. 본 연구에서는 자전거이용자의 모의실험을 통해 결정된 차두시간의 범위를 산출하였다.

2) 교통량 데이터의 구분

자동차교통류의 차두시간 분포 모형을 보면 교통량에 따라 차두시간분포 모형을 구분하여 제시하는 것이 일반적이다. 이는 교통량이 적으면 평균과 표준편차가 커지게 되고, 교통량이 많아지면 평균과 표준편차가 작아지는 특성을 구분하여 설명하기 위함이다. 따라서 자전거교통류의 차두시간 분포모형에서도 교통량의 기준에 따라 모형적용을 구분하여 적용하는 과정이 포함되어야 한다. May(1990)는 차량의 차두시간을 1분당 교통량을 기준으로 4개로 구분(10~14, 15~19, 20~24, 25~29)하여 그래프로 나타내었다. Y축은 1분당 교통량이고, 평균교통량으로 환산되어 표시되었다. X축은 차두시간(초)이며, 0.5초 간격으로 그래프에 표현되었다. 음영으로 처리된 부분의 높이는 0.5초 간격의 차두시간 비율을 나타내고 있다. 본 연구에서는 자전거교통량의 범위를 고려하여 낮은 교통량(Low)

2) 운전자 본인이 선택한 자전거 차두시간 역시 일반적인 교통류라고 가정할 수도 있으나, 후행하는 자전거는 선행하는 자전거의 속도에 따라 주행하며 추월의도가 없다는 점에서 교통공학에서 설명하는 교통류에는 포함되지 않는 것으로 판단하였음.

3) 촬영영상에서 일부 교통류는 아버지와 아들, 유사한 복장을 한 연인 등의 구분이 가능한 경우도 있으나 이는 일부분이며 정확한 구분은 어려움.

과 높은 교통량(High)로 구분하였다.

3) 기존 모형 및 전이된 모형의 적용

차두시간의 분포모형을 설명하기 위해 May(1990)는 <표 3-1>과 같이 모형과 확률밀도함수를 제시하고 있으며, 그 외에도 많은 모형들이 있다. 본 연구에서는 제시된 모형중에서 대표적인 모형을 선정하여 실제 자전거도로의 현장에서 도출된 관측치와 모형에 따른 이론치를 비교하고자 하였다.

<표 3-1> 피어슨 III 분포 모형의 분류에 따른 수식(May, 1990)

분포모형	측정 \hat{K}	이론 λ	확률밀도함수($f(t)$)	확률분포($P(h \geq t)$)
피어슨 III (K, α)	$\frac{\bar{t}-\alpha}{s}$	$\frac{K}{\bar{t}-\alpha}$	$\frac{\lambda}{\Gamma(K)}[\lambda(t-\alpha)]^{K-1}e^{-\lambda(t-\alpha)}$	$\int_t^\infty f(t)dt$
감마 ($K, \alpha=0$)	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{K}{\bar{t}}$	$\frac{\lambda}{\Gamma(K)}[\lambda t]^{K-1}e^{-\lambda t}$	$\int_t^\infty f(t)dt$
어랭(Erlang) $K=1,2,3,\dots,\alpha=0$)	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{K}{\bar{t}}$	$\frac{\lambda}{(K-1)!}[\lambda t]^{K-1}e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t} \sum_{h=0}^{n=k-1} \frac{(\lambda t)^n}{n!}$
음지수 ($K=1, \alpha=0$)	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{1}{\bar{t}}$	$\lambda e^{-\lambda t}$ or $\lambda e^{-\frac{t}{\bar{t}}}$	$e^{-\lambda t}$ or $e^{-t/\bar{t}}$
전이된 음지수 ($K=1, \alpha>0$)	$\frac{\bar{t}-\alpha}{s}$	$\frac{1}{\bar{t}-\alpha}$	$\lambda e^{\lambda(t-\alpha)}$ or $\lambda e^{-(t-a)/(\bar{t}-\alpha)}$	$\lambda e^{\lambda(t-\alpha)}$ or $e^{-(t-a)/(\bar{t}-\alpha)}$

제시된 모형들은 관측된 차두시간의 빈도수와 카이스퀘어 검정을 통해 모형의 적합성이 판단된다. 자전거교통류의 차두시간 분포모형은 아직까지 제시된 바가 없으므로, 본 연구에서는 자동차교통류에서 일반적으로 적용되는 기본적인 정규분포와 함께 음지수분포, 피어슨 III분포를 적용

해보았다. 또한 전이된 모형에 대한 검토를 위해 기존의 음지수분포에서 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다. 만약 제시된 정규분포와 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포를 적용하여 적정한 차두시간 분포모형이 없을 경우에는 추가적인 분포모형을 적용하기로 한다. 또한 전이된 음지수분포에서 적용한 전이값인 0.5초가 모형에 대한 1종 오류의 가능성이 클 경우 전이값을 수정하여 적용하기로 한다.

③ 차두시간 분포모형 선정

앞에서 제시한 자전거교통류의 차두시간 분포모형에 적용가능한 방법론과 가정에 따라 실제 자전거교통류의 현장자료 수집을 통해 이를 적용해보았다. 자료수집방법은 직접 현장에서 자전거교통류를 촬영하여 데이터화하였으며, 자전거교통류의 특성분석에 따라 운전자가 선택한 차두시간을 실험을 통해 산출하였다. 적용된 차두시간 분포모형은 정규분포와 음지수분포, 피어슨 III분포이며, 전이된 음지수분포는 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다. 음지수분포의 전이값은 값의 변화에 따라 카이스퀘어 검정에 차이가 있을 수 있으므로, 전이값을 다양화하여 변화에 따른 검정결과를 살펴보았다. 현장자료 수집과 데이터의 적용범위, 자전거도로 차두시간 분포모형의 선정 등의 각 단계별 연구수행 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 현장자료 수집

자전거교통류 중 연속류의 차두시간을 측정하기 위해 자전거교통량이 많은 강변 자전거도로를 공간적 범위로 선정하였다. 연속적인 자전거통행 데이터를 수집하기 위해서는 자전거도로가 타 교통수단에 방해받지 않고 통행해야 한다. 이러한 점을 고려하여 보행자와 인라인스케이트 등 타 교통수단과 상충이 비교적 적은 안양천 자전거도로를 대상지로 선정하였다⁴⁾. 데이터 수집의 용이성을 위해 주말 자전거통행이 많은 시간

4) 국내에서 자전거교통량이 가장 많은 자전거전용도로는 한강변 자전거도로이

대를 선정하였으며, 자전거도로를 벗어나거나 중앙선을 넘는 경우 또는 타 교통수단(인라인스케이트, 보행자 등)에 의해 일시적으로 정상적인 주행에 방해를 받았다고 판단되는 데이터는 수집에서 제외하였다.

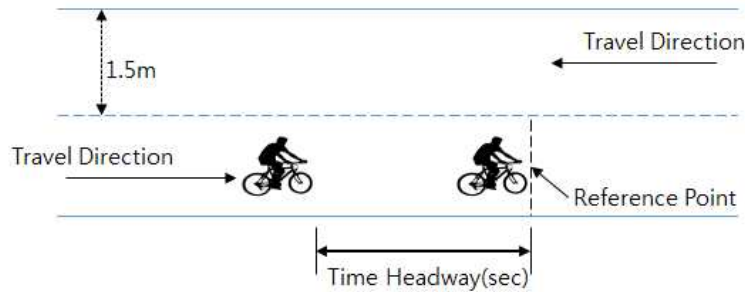
- 일시 : 2011년 10월 22일(토)
- 장소 : 안양천 자전거도로
- 촬영시간 : 오전 10시~오후 5시



<그림 3-2> 차두시간 데이터 수집 전경

데이터 분석방법은 고정식 카메라를 이용하여 녹화한 후 차두시간을 측정하는 방식을 사용하였다. 차두시간은 비디오화면에 가상의 선을 표시한 후, 선행하는 자전거와 뒤따라오는 자전거의 시간차이를 기록하여 측정하였다. 차두시간 데이터의 수집방법을 도식화하면 <그림 3-3>과 같다.

나, 자전거 외에 인라인스케이트, Personal Mobility(나인봇 등), 보행자 등의 타 교통수단이 자전거도로에 자주 혼재되어 본 연구의 대상구간으로 적절하지 않아 제외하였음



<그림 3-3> 차두시간 측정 방법

차두시간은 본 연구에서 개발한 차두시간 측정 프로그램을 이용하여 데이터화 하였다. 자전거가 지정된 지점(Reference Point)을 통과할 때 정해진 키를 누르면 자동으로 시간이 기록되고, 이전 자전거와의 차두시간이 산출된다. <그림 3-4>는 본 연구에서 개발한 차두시간 측정 프로그램의 데이터 조사장면이다.

```
Wtm_headway.csv
=====
How to use
=====
- Type 's' to start over the work
- Type 'h' or space bar to record a follower
- Type 'c' to record a non-follower
- Type 'q' to quit the program
=====
START: Initialize the timer at 00:00:00:000
1. 00:00:00:000, 0, 00:00:06:818, 6818, 00:00:06:818,
6818, Y
2. 00:00:06:818, 6818, 00:00:08:814, 8814, 00:00:01:996,
1996, Y
3. 00:00:08:814, 8814, 00:00:13:136, 13136, 00:00:04:322,
4322, N
4. 00:00:13:136, 13136, 00:00:14:571, 14571, 00:00:01:435,
1435, N
5. 00:00:14:571, 14571, 00:00:15:850, 15850, 00:00:01:279,
1279, Y
6. 00:00:15:850, 15850, 00:00:16:724, 16724, 00:00:00:874,
874, N
7. 00:00:16:724, 16724, 00:00:17:644, 17644, 00:00:00:920,
920, Y
```

<그림 3-4> 차두시간 분석 프로그램

2) 데이터의 적용범위

본 연구에서는 모의 현장실험을 통해 자전거교통류에서 운전자가 차두

시간을 선택하였을 때의 시간을 구해보고자 하였다. 실험방법은 자전거 운전이 숙련되었다고 판단되는 자전거동호회의 도움을 받아 자전거속도 별로 차두시간을 측정하고, 이를 통해 운전자가 속도에 따라 선택할 수 있는 차두시간이 얼마인지를 알아보고자 하였다. 실험은 타 교통수단의 방해가 없는 자전거전용도로의 평탄한 직선구간에서 수행되었다. 안전한 실험을 위하여 자전거이용이 극히 적은 시간대를 선택하였고, 다른 자전거운전자가 타 교통수단이 실험구간 내에 진입할 경우에는 실험을 다시 시행하였다. 실험자는 총 5명으로 국내에서 자전거이용이 가장 많은 20대와 30대, 40대로 구성하여 대표성을 가지도록 하였다. 주행속도는 최소 5kph에서 국내 자전거전용도로의 제한속도인 30kph까지 5kph 간격으로 변화하면서 실험하여, 최대한 현장을 모사할 수 있도록 하였다. 날씨는 맑은 상태였으며, 도로시정은 양호하고 직선구간에 다른 교통류의 방해가 없는 이상적인 조건을 유지하였다. 모의 차두시간 실험의 현장실험방법은 <그림 3-5>와 같다.



<그림 3-5> 차두시간 모의실험 개요

모의 현장실험은 다음과 같은 방법으로 진행되었다. 먼저 실험자는 실험이 시작되기 이전에 일정한 간격으로 일렬로 정렬하여 대기한다. 맨 앞의 운전자는 자전거의 속도계를 통해 각 실험단계별로 속도를 유지할 수 있도록 한다. 맨 앞의 운전자는 시작점에서 출발한 후 특정 지점에서부터 자전거에 부착된 속도계를 이용하여 정해진 속도를 유지하도록 하며, 후발 운전자들은 앞 자전거와의 속도를 유지하며 주행하였다⁵⁾. 실험

은 각 속도별로 2회를 시행하였는데, 첫 번째에는 일반적인 차두시간 간격을 유지하면서 주행하고(CASE 1), 두 번째는 선행 자전거와 차두시간을 최소화하는 상태에서 주행하였다(CASE 2). 정해진 속도에 벗어났다고 판단되었을 경우 주행을 멈추고 다시 실험을 진행하였으며, 속도유지구간에서 각 실험자간의 주행속도와 차두시간을 측정하였다.

- 일시 : 2011년 12월 11일(일)
- 장소 : 파주시 헤이리 자전거도로
- 촬영시간 : 오전 10시 ~ 오후 2시



<그림 3-6> 차두시간 모의실험 전경

자전거운전자의 통행에 대해 행태로 구분(CASE 1, 2)한 이유는 앞뒤 자전거가 일행이라 하더라도 자전거운전능력에 따라 차두시간이 달라질 수 있기 때문에 2가지 행태로 실험을 진행하였다. 모의 현장실험을 통해 산출된 자전거 주행속도와 차두시간은 <표 3-2>와 같다⁶⁾.

-
- 5) 실험단계에서 실제 주행실험 이전에 수차례 선행자전거와 뒤따르는 자전거의 속도를 유지하는 모의주행을 시행하였으나, 뒤따르는 자전거의 추종 행태로 인해 차두시간이 일부 영향을 받았을 수 있음.
 - 6) 차두시간에 대한 모의실험은 실험자의 수와 실험환경 등에 따라 차두시간의 각 주행속도별로 차이가 발생할 수 있음.

<표 3-2> 모의실험의 주행속도에 따른 차두시간

자전거 주행속도 (kph)	차두시간(초)		
	CASE 1	CASE 2	평균
5	1.56	1.54	1.55
10	0.95	0.84	0.9
15	0.8	0.61	0.71
20	0.54	0.43	0.48
25	0.49	0.41	0.45
30	0.46	0.37	0.41

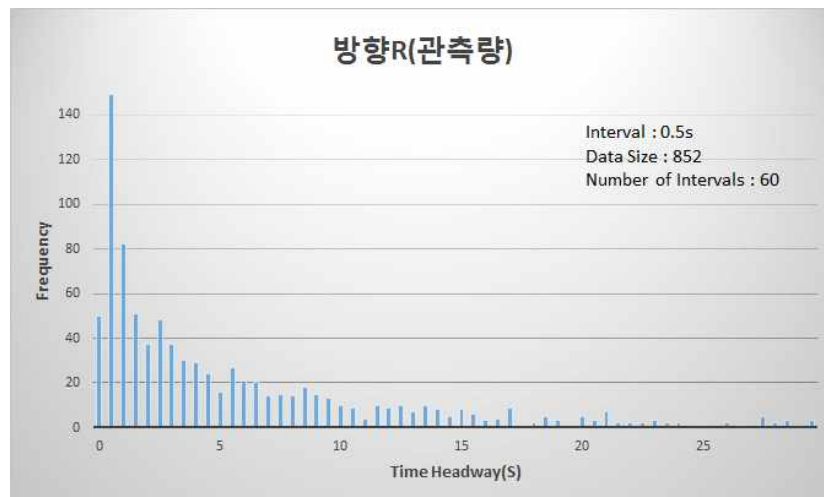
* CASE 1 : 일반적인 주행상태, CASE 2 : 차두시간의 최소화 주행상태,

<표 3-2>의 실험결과를 보면, 자전거속도가 5kph일 때 평균 1.55초의 차두시간을 보이며, 속도가 증가할수록 차두시간은 감소하여 30kph일 때 0.41초까지 감소함을 알 수 있다. 자전거도로의 주행속도는 개인별로 차이가 발생하며, 대표적인 주행속도를 규정하는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 차두시간 분석모형에 사용된 자전거의 주행속도 평균을 조사하여 <표 3-2>에서 주행속도에 따른 차두시간을 찾고자 한다.

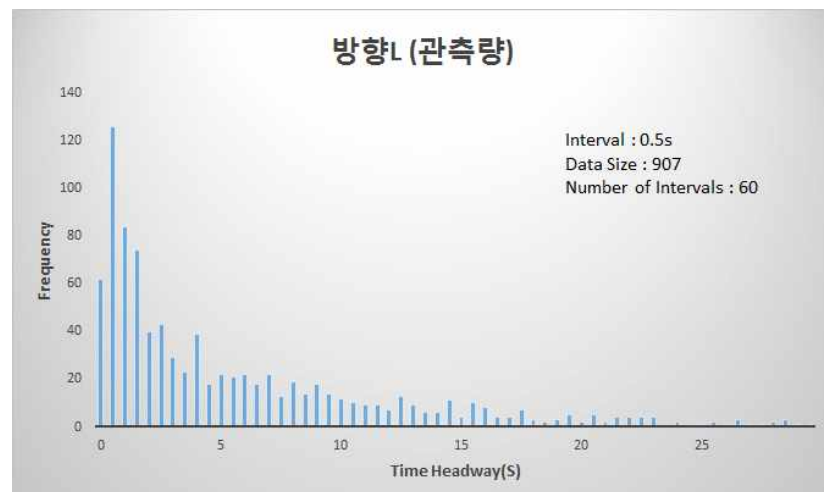
차두시간 분석에 활용된 촬영영상에서 일정거리(6m)를 기준으로 시작점과 종료점의 통과시간을 측정하여 개별 주행속도를 측정하였다. 제시된 속도 중에서 차두시간의 선정을 위해 영상수집된 전체 자전거교통류의 평균 주행속도를 측정하였다. 측정된 자전거는 총 1,022대이며, 평균 주행속도는 약 18kph로 분석되었다. 따라서 모의실험을 통해 자전거운전자가 선정한 차두시간은 <표 3-2>에서 15kph와 20kph에서 선정이 가능하며, 차두시간 선정에 따라 분석결과에 영향을 끼칠 수 있다. 본 연구에서는 2개의 값 중에서 큰 값인 0.7초 이하를 특정한 자전거에 의해 차두시간이 결정되는 교통류라고 규정하였다. 이에 따라 산출된 차두시간(0.7초)은 전체 차두시간 샘플에서 0.7초 이하가 되는 차두시간은 운전자가 선택한 차두시간으로 가정하여 실제 차두시간 분포 모형 추정을 위한 데이터분석에서는 제외하였다.

3) 자전거 차두시간 분포 모형

현장조사 데이터를 차두시간과 교통량으로 구분하였다. 주말 자전거교통량은 목적지에 따라 방향 교통량이 차이가 발생하는 점을 고려하여 촬영지점을 기준으로 양방향으로 구분하여 분석하였다. 데이터 수집단위는 자료조사 지점을 기준으로, 좌측으로 진행하는 교통량(안양방면)과 우측으로 진행하는 교통량(서울방면)으로 구분하였다.

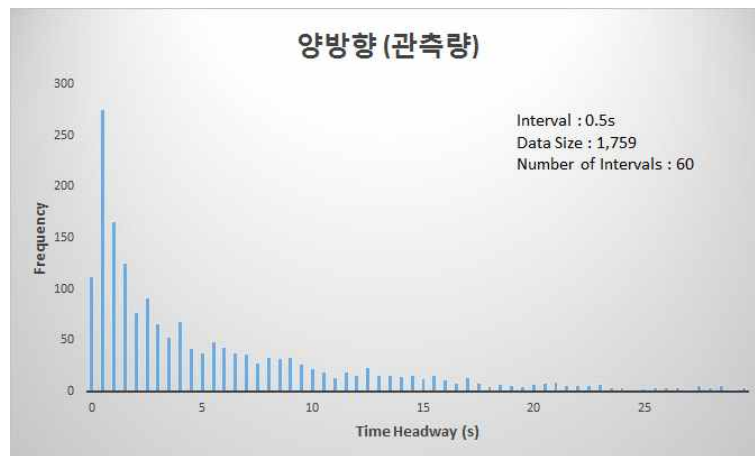


<그림 3-7> 차두시간과 교통량(우측, 관측)



<그림 3-8> 차두시간과 교통량(좌측, 관측)

차두시간(X축)은 자동차교통량의 분포에서 일반적으로 사용하는 0.5초를 기준으로 빈도수(Y축)를 표현하였다. 양방향 데이터를 살펴보면 총 관측된 차두시간 샘플은 1,759개이며, 차두시간 0.5초에서 1.0초 사이에 275대로 가장 높은 빈도수를 보이고 있으며, 0.5초 이하는 112대가 관측되었다. 앞에서 제시한 바와 같이 차두시간 분포모형에서는 0.7초 이하의 데이터는 분석에 포함시키지 않았다.



<그림 3-9> 차두시간과 교통량(양방향, 관측)

자전거교통류도 자동차교통류와 형태가 유사할 것이라는 가정하에, 본 연구에서는 자전거교통류를 낮은 교통량(Low)과 높은 교통량(High)로 구분하였다. 교통량의 기준은 1분당 8대 미만은 낮은 교통량으로 하고 8대 이상은 높은 교통량으로 구분하여 분석하였다⁷⁾. 그리고 데이터 분석 단계에서 차두시간이 30초 이상은 거의 발생하지 않을 뿐 아니라, 차두시간의 개념에 벗어나는 것으로 판단하여 데이터에서 제외하였다.

선행문헌 고찰에서도 언급되었듯이 국내뿐만 아니라 국외에서도 자전거교통류의 분포 모형에 대한 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 자동차교통류에서 사용되는 대표적인 분포 모형을 자전거교통류

7) 본 연구에서 제시한 8대/분의 교통량 구분은 전체 데이터수를 고려하여 결정한 값이므로, 교통량 구분이 달라지게 되면 분석결과도 달라질 수 있음.

에 적용해보았다. 적용된 분포는 정규분포와 음지수분포, 피어슨 III분포이며, 전이된 음지수분포는 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다.

모형개발과 정산을 위해 데이터집단을 2개의 그룹으로 분할하였다. 시간대별로 총 4개의 데이터집단이 수집되었으며, 모형개발과 정산에 각각 2개의 데이터집단을 적용하였다. 모형개발에 사용된 데이터는 700개이고 정산에 사용된 데이터는 720개이다.

차두시간 모형의 통계적 유의성 여부를 분석하기 위해 카이스퀘어 검정을 사용하였으며, 유의수준은 0.01로 하였다. 통계적 유의성 검정을 위한 카이스퀘어 검정의 수식은 식(3-2)와 같다.

$$X_{cal}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{식(3-2)}$$

여기서, X_{cal}^2 : 산출된 카이제곱 값

E_i : 관측된 차두시간 빈도수

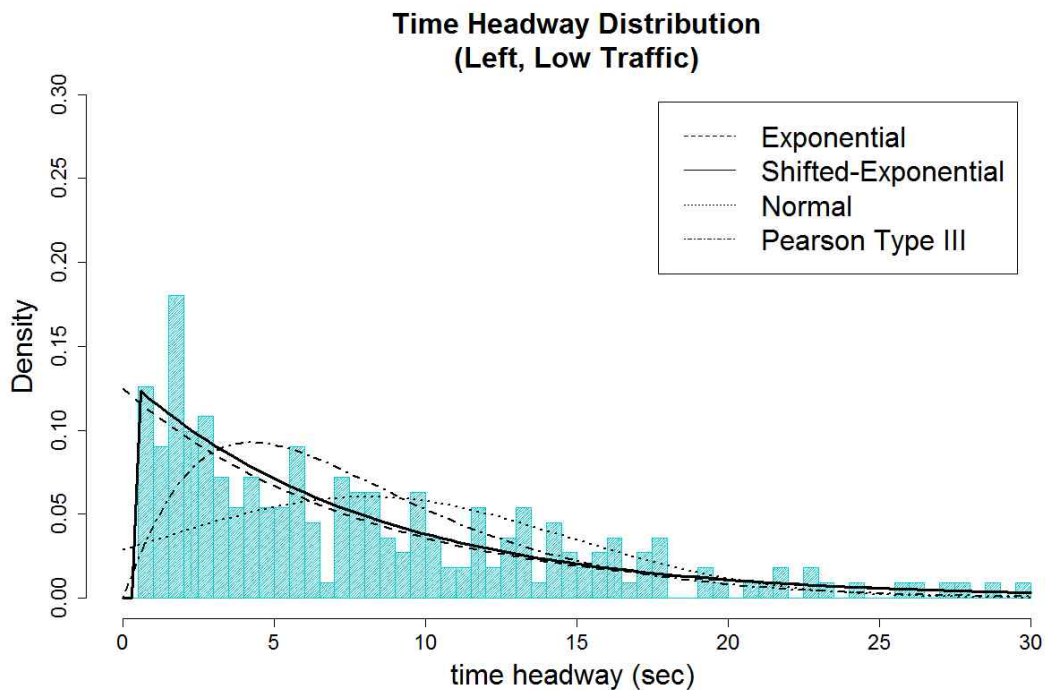
O_i : 추정된 차두시간 빈도수

차두시간 모형선정을 위해 사용된 700개의 데이터에 대해 기초통계량을 분석하였다. 데이터의 개수는 좌측 낮은 교통량이 222개로 가장 많고 좌측 높은 교통량이 102개로 가장 적었다. 4개의 데이터그룹 모두 중앙값이 평균값보다 작게 나타났는데, 일반적으로 관측치가 균일하게 분포되어 있을 경우 중앙값과 평균값이 유사하게 나타므로 본 연구에서 사용된 차두시간 데이터의 분포가 좌측에 치우쳐있음을 의미한다. 교통량을 기준으로 높은 교통량에 비해 낮은 교통량의 평균 차두시간이 크게 관측되고 있음을 알 수 있다. 각 교통량과 방향에 따른 차두시간 데이터의 기초 통계량은 <표 3-3>과 같다.

<표 3-3> 차두시간 데이터의 기초 통계량

구분	데이터 개수 (Number)	중앙값 (Median)	평균값 (Mean)	표준편차 (SD)
좌측-낮은 교통량	222	5.968	8.025	6.609
좌측-높은 교통량	102	3.126	5.382	5.583
우측-낮은 교통량	201	5.563	7.786	6.731
우측-높은 교통량	175	3.750	6.578	6.645

좌측교통류의 낮은 수준 교통량에 대해 정규분포와 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포를 적용한 이론치와 실제 현장에서 도출된 관측치를 그래프와 표로 제시하면 다음과 같다⁸⁾.

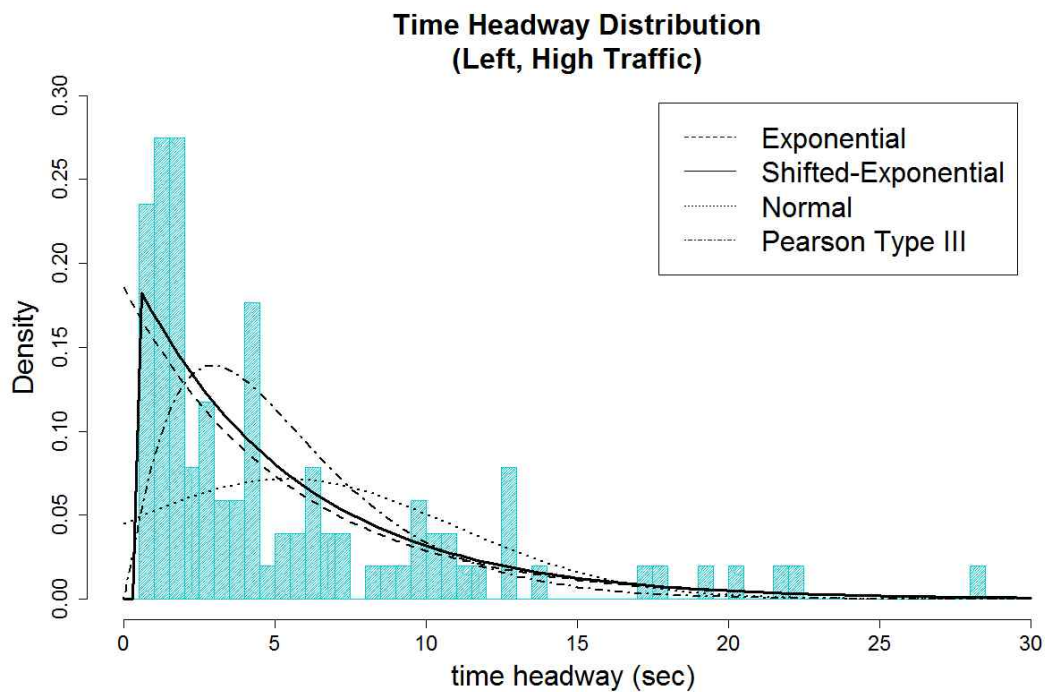


<그림 3-10> 관측치와 예측치의 비교(좌측, 낮은 교통량)

8) 차두시간 관측치와 각 모형별 이론치의 상세 데이터는 부록4에 수록하였음

<표 3-4> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(좌측, 낮은 교통량)

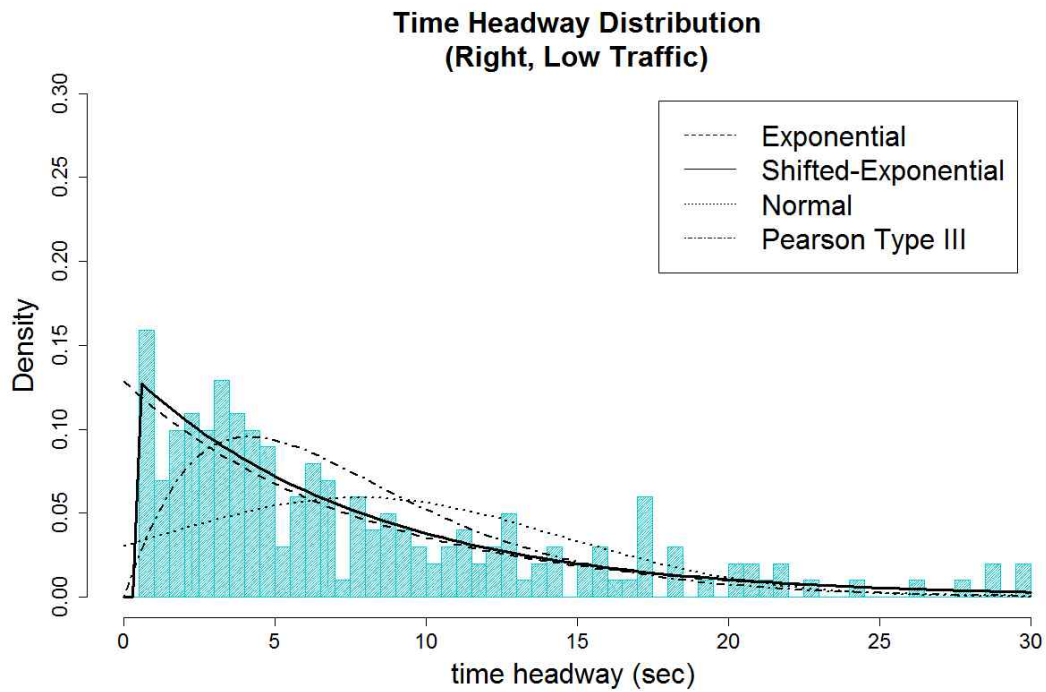
차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	13	-	3	1
0.5	1	14	13	13	4	4
1	1.5	9	12	13	4	6
1.5	2	19	11	12	4	7
2	2.5	11	10	11	5	9
2.5	3	14	10	10	5	9
3	3.5	7	9	10	5	10
3.5	4	7	9	9	5	10
4	4.5	8	8	9	6	10
4.5	5	6	8	8	6	10
...
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	1	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	1	0	0	0	0



<그림 3-11> 관측치와 예측치의 비교(좌측, 높은 교통량)

<표 3-5> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(좌측, 높은 교통량)

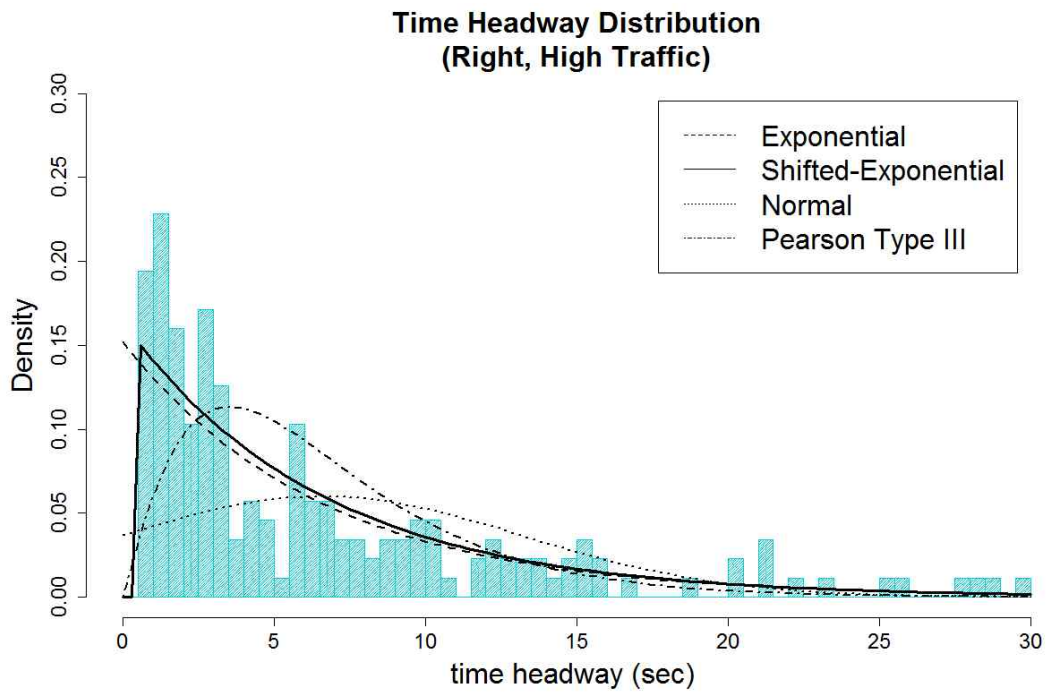
차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	9	-	2	1
0.5	1	10	8	9	3	3
1	1.5	16	8	8	3	5
1.5	2	14	7	8	3	6
2	2.5	3	6	7	3	7
2.5	3	7	6	6	3	7
3	3.5	3	5	6	3	7
3.5	4	3	5	5	3	7
4	4.5	9	4	5	4	6
4.5	5	1	4	4	4	6
...
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0



<그림 3-12> 관측치와 예측치의 비교(우측, 낮은 교통량)

<표 3-6> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(우측, 낮은 교통량)

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	13	-	3	1
0.5	1	16	12	13	3	3
1	1.5	6	11	12	4	5
1.5	2	11	10	11	4	7
2	2.5	10	10	10	4	8
2.5	3	10	9	10	5	9
3	3.5	14	9	9	5	9
3.5	4	11	8	9	5	10
4	4.5	10	7	8	5	10
4.5	5	9	7	7	5	9
.
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	2	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	2	0	0	0	0



<그림 3-13> 관측치와 예측치의 비교(우측, 높은 교통량)

<표 3-7> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교(우측, 높은 교통량)

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	13	-	3	1
0.5	1	17	12	13	4	4
1	1.5	20	11	12	4	6
1.5	2	14	10	11	4	8
2	2.5	8	9	10	4	9
2.5	3	16	9	9	4	10
3	3.5	11	8	9	5	10
3.5	4	3	8	8	5	10
4	4.5	5	7	8	5	10
4.5	5	4	6	7	5	9
...
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	1	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	1	0	0	0	0

지금까지 현장에서 도출된 관측치와 각 4개의 분포모형(정규분포와 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포)를 적용한 이론치에 대해 검정을 하기 위해 카이스퀘어 검정을 사용한 결과는 <표 3-8>과 같다. 유의수준은 0.01이며, 각 방향별과 교통량 수준별에 따라 이론치와 관측치간의 유의확률을 제시하였다.

분석단위를 0.5초로 하고 좌측(안양)으로 이동하는 교통류와 우측(서울)으로 구분하여 4개 분포모형의 통계적 유의성을 분석하였으며, <표 3-3>과 같이 유의성 결과를 도출하였다. 유의확률(p-value)이 유의수준과 비교할 때 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 1종 오류의 확률이 작은 것으로 나타났다. 반면, 정규분포와 피어슨 III분포는 통계적으로 1종 오류의 확률이 큰 것으로 나타났다. 음지수분포와 0.5초 전이된 음지수분포는 둘다 유의확률이 유의수준보다 높아 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 나타났으나, 통계치를 비교하였을 때 전이된 음지수분포가 더욱 1종 오류의 확률이 적은 것으로 판단할 수 있다.

<표 3-8> 분포에 따른 통계검정 결과(모형선정 단계)

통계치		분포			
		음지수 분포	전이된 음지수 분포	정규분포	피어슨 III 분포
좌측 (Low)	χ^2 통계치	61.06	51.15	152.29	99.92
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.4019	0.7567	0.0000	0.0007
좌측 (High)	χ^2 통계치	62.77	47.81	151.67	90.39
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.3443	0.8510	0.0000	0.0053
우측 (Low)	χ^2 통계치	73.06	43.68	158.12	119.08
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.1031	0.9322	0.0000	0.0000
우측 (High)	χ^2 통계치	65.51	51.59	214.08	126.56
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.2613	0.7424	0.0000	0.0000

■ 선정된 모형

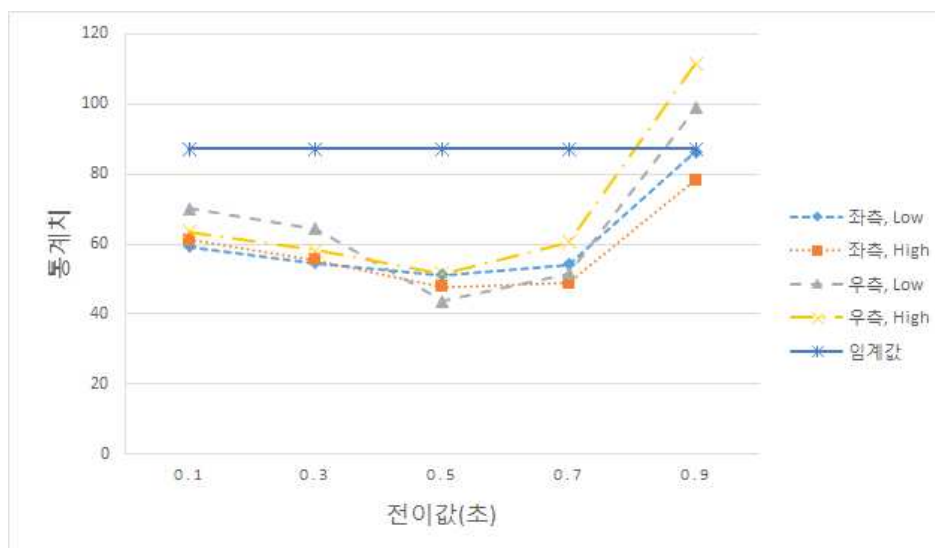
본 연구에서는 자전거도로의 차두시간 분포모형 중 가장 1종 오류의 확률이 작은 모형을 전이된 음지수분포로 제시하였다. 전이값은 0.5초를 적용하였으며, 전이값에 따라 모형의 1종 오류 확률이 달라질 수 있다. 많은 차두시간 분포모형개발에서 사용하는 전이값은 0.5초가 가장 많으나, 자전거교통류에 대한 차두시간 분포모형은 관련 연구가 부족하므로 다양한 분석이 필요하다. 따라서 음지수분포의 전이값을 다양하게 적용하여 카이스퀘어검정을 시행하여 전이값에 따른 통계량을 비교분석하면 <표 3-9>와 같다.

전이값을 0.1초에서 0.2초 간격으로 변화하여 카이스퀘어 통계검정을 시행한 결과 0.9초에서 일부 임계치를 벗어났으나, 나머지 경우에는 유의한 것으로 나타났다. 카이스퀘어 통계량을 이용하여 비교하면 본 연구에

서 제시한 전이값인 0.5초에서 가장 1종 오류의 확률이 작은 것으로 나타났으며, 나머지 전이값에서는 유의한 결과이긴 하나 1종 오류의 확률이 0.5초보다 큰 것으로 나타났다. 이는 기존의 음지수분포에서 전이된 음지수분포가 통계적 검정을 통과하며, 적용된 전이값에서는 0.5초가 가장 1종 오류의 확률이 작은 것으로 제시할 수 있다. 각 경우별 전이값에 대한 통계치를 비교하면 <그림 3-14>와 같이 제시된다.

<표 3-9> 전이값에 따른 음지수분포의 통계검정 결과

통계치		전이값				
		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
좌측 (Low)	χ^2 통계치	59.29	54.63	51.15	54.10	86.37
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17
좌측 (High)	χ^2 통계치	61.10	55.45	47.81	48.81	78.30
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17
우측 (Low)	χ^2 통계치	70.14	64.41	43.68	51.60	98.84
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17
우측 (High)	χ^2 통계치	63.42	58.15	51.59	60.58	111.45
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17	87.17



<그림 3-14> 전이값에 따른 통계검정 결과

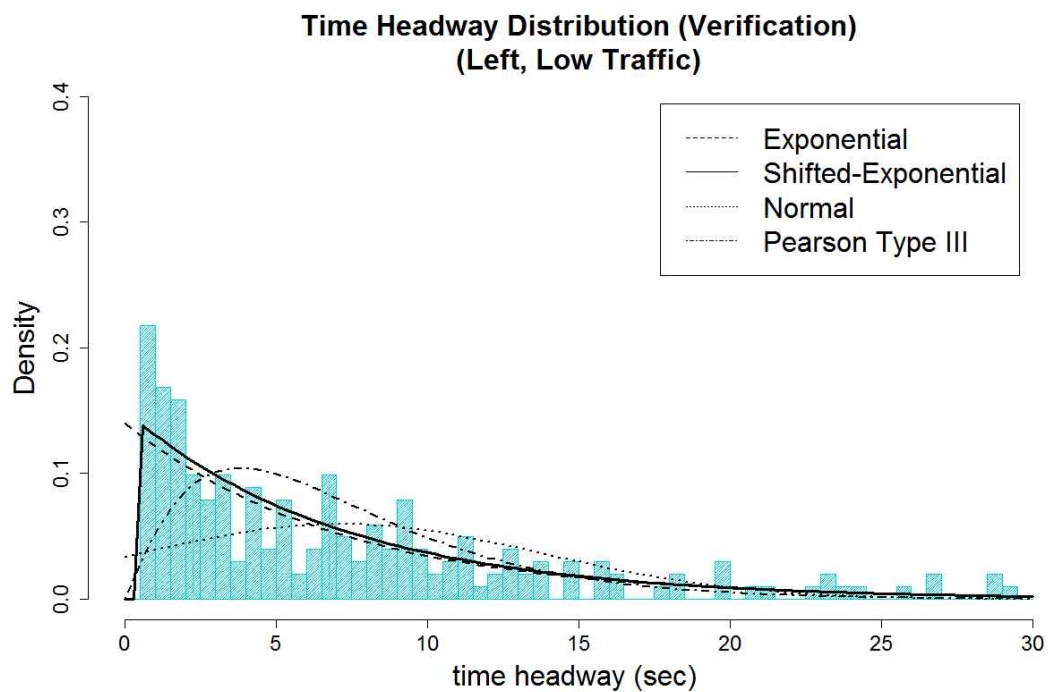
2. 선정된 모형의 적용 및 평가

① 적용 및 평가방법

제3절에서는 자전거교통류의 차두시간 분포모형을 정립하는 방법론과 실제 현장데이터를 이용하여 4개의 모형에 대한 관측치와 이론치를 통계적 검정을 통해 시행하였다. 방법론에서는 자전거운전자가 다른 특정한 자전거에 영향을 받는 교통류에 대해 정의하고, 그러한 교통류를 찾는 방법을 제시하였다. 또한 교통량에 따라 차두시간 분포모형을 구분하여 제시하였으며, 기존의 정규분포와 함께 음지수분포, 피어슨 III분포와 함께 전이된 음지수분포를 적용하였다. 모형분석 결과 음지수분포와 전이된 음지수분포가 관측치와 비교하였을 때 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 통계치 비교에서는 전이된 음지수분포가 음지수분포보다 1종 오류의 확률이 작은 것으로 분석되었다.

본 절에서는 개발된 모형에 대해 다른 데이터를 이용하여 모형의 적용성을 판단하고자 한다. 이를 위해 3절에서도 언급하였듯이 모형개발과 정산을 위해 데이터집단을 2개의 그룹으로 분할하였다. 앞의 데이터집단은 모형개발을 위해 사용되었으며, 개발모형의 적용 및 평가를 위해 두 번째 그룹의 데이터를 적용하였다. 차두시간 모형의 통계적 유의성 여부를 분석하기 위해 모형개발 단계와 동일하게 카이스퀘어 검정을 사용하였으며, 유의수준 역시 동일하게 0.01로 하였다. 통계적 유의성 검정을 위한 카이스퀘어 검정의 수식은 제3절의 식(3-2)와 같다.

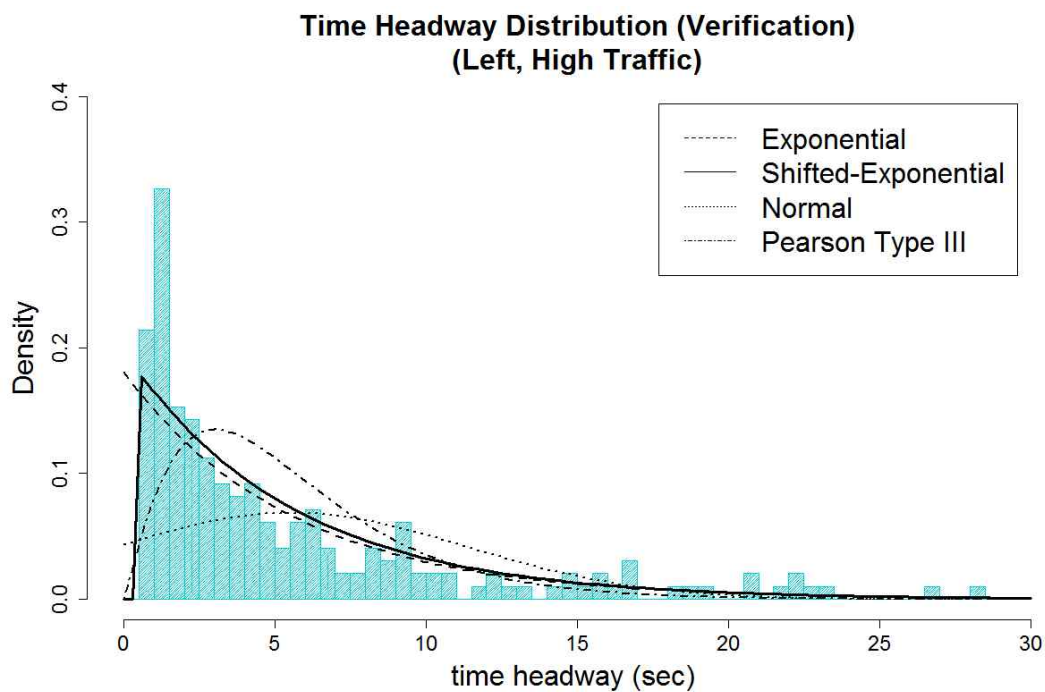
적용 및 평가를 위한 차두시간 분포모형은 개발단계와 동일하게 정규분포, 음지수분포, 피어슨 III분포, 전이된 음지수분포를 적용하였다. 전체 차두시간 샘플에서 0.7초 이하가 되는 차두시간은 운전자가 선택한 차두시간으로 가정하여, 적용 및 평가 단계의 차두시간 분포 모형을 위한 데이터분석에서 제외하였다. 또한 자전거교통량의 범위를 고려하여 낮은 교통량(Low)과 높은 교통량(High)로 구분하였다.



<그림 3-15> 관측치와 예측치의 비교 · 평가(좌측, 낮은 교통량)

<표 3-10> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교 · 평가(좌측, 낮은 교통량)

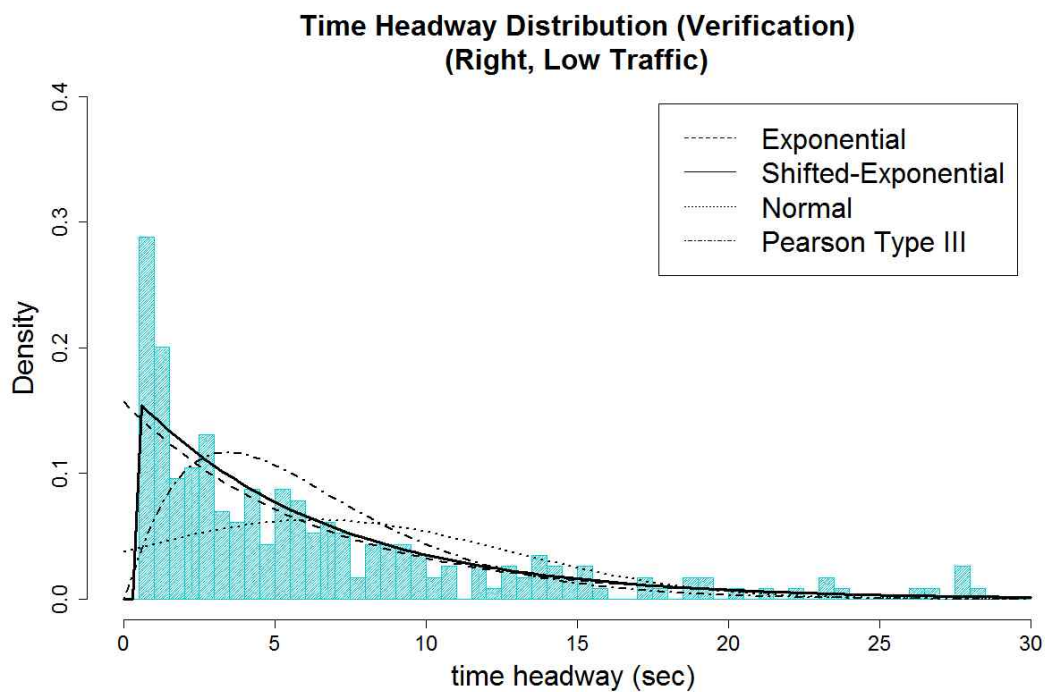
차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	14	-	4	1
0.5	1	22	13	14	4	4
1	1.5	17	12	13	4	6
1.5	2	16	11	12	4	8
2	2.5	10	10	11	5	9
2.5	3	8	10	10	5	10
3	3.5	10	9	10	5	10
3.5	4	3	8	9	5	11
4	4.5	9	8	8	5	10
4.5	5	4	7	8	6	10
.
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	2	0	0	0	0
29	29.5	1	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0



<그림 3-16> 관측치와 예측치의 비교 · 평가(좌측, 높은 교통량)

<표 3-11> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교 · 평가(좌측, 높은 교통량)

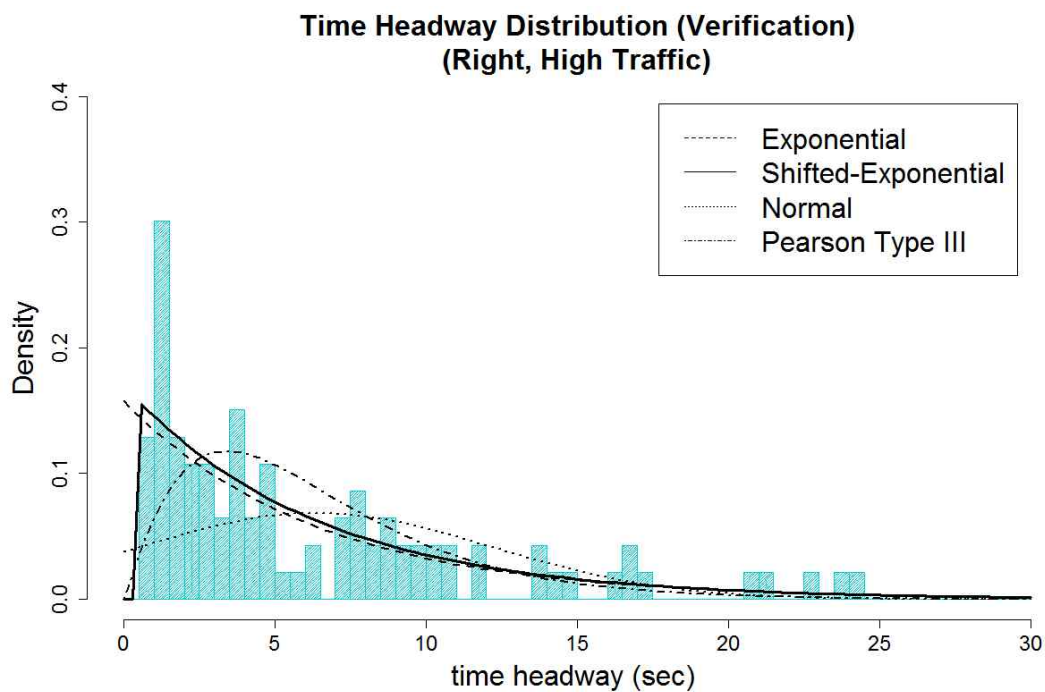
차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	17	-	4	2
0.5	1	21	15	17	5	6
1	1.5	32	14	15	5	9
1.5	2	15	13	14	5	11
2	2.5	14	12	13	6	13
2.5	3	11	11	12	6	13
3	3.5	9	10	11	6	13
3.5	4	8	9	10	6	13
4	4.5	9	8	9	7	12
4.5	5	6	8	8	7	11
.
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0



<그림 3-17> 관측치와 예측치의 비교 · 평가(우측, 낮은 교통량)

<표 3-12> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교 · 평가(우측, 낮은 교통량)

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	—	17	—	5	2
0.5	1	33	16	17	5	6
1	1.5	23	15	16	5	9
1.5	2	11	14	15	6	11
2	2.5	12	13	14	6	12
2.5	3	15	12	13	6	13
3	3.5	8	11	12	6	13
3.5	4	7	10	11	7	13
4	4.5	10	9	10	7	13
4.5	5	5	9	9	7	13
...
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0



<그림 3-18> 관측치와 예측치의 비교 · 평가(우측, 높은 교통량)

<표 3-13> 차두시간 관측치와 이론치의 데이터 비교 · 평가(우측, 높은 교통량)


차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	—	7	—	2	1
0.5	1	6	7	7	2	2
1	1.5	14	6	7	2	4
1.5	2	6	6	6	2	4
2	2.5	5	5	6	2	5
2.5	3	5	5	5	3	5
3	3.5	3	4	5	3	5
3.5	4	7	4	4	3	5
4	4.5	3	4	4	3	5
4.5	5	5	3	4	3	5
...
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0

자전거도로의 차두시간 분포모형에 대한 적용성 평가를 위해 현장에서 도출된 관측치와 각 4개의 분포모형(정규분포와 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포)을 적용한 이론치의 카이스퀘어 검정을 사용한 결과는 <표 3-14>와 같다. 선정단계와 동일하게 유의수준은 0.01이며, 각 방향별과 교통량 수준별에 따라 이론치와 관측치간의 유의확률을 제시하였다. 차두시간 분포모형의 선정단계에서와 마찬가지로 유의확률과 유의수준의 비교를 통해 귀무가설의 기각여부를 판단하였다.

모형의 유의성 분석 결과, 모형 개발단계와 동일하게 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 1종 오류의 확률이 작은 것으로 나타났다.

<표 3-14> 분포에 따른 통계검정 결과(모형 적용 및 평가 단계)

통계치		분포			
		음지수 분포	전이된 음지수 분포	정규분포	피어슨 III 분포
좌측 (Low)	χ^2 통계치	68.74	48.63	217.4	159.96
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.1808	0.8301	0.0000	0.0000
좌측 (High)	χ^2 통계치	66.22	47.03	273.78	131.16
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.2419	0.8696	0.0000	0.0000
우측 (Low)	χ^2 통계치	67.17	48.48	285.14	184.98
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.2175	0.8342	0.0000	0.0000
우측 (High)	χ^2 통계치	41.89	29.36	122.17	57.72
	$\chi^2_{0.01}(59)$	87.17	87.17	87.17	87.17
	p-value	0.9551	0.9996	0.0000	0.5229

 선정된 모형

② 적용 평가결과

이번 절에서는 앞에서 선정된 모형에 대해 다른 현장데이터를 이용하여 적용 및 평가를 시행하였다. 적용 및 평가방법은 개발단계와 동일하게 수행하였으며, 관측된 데이터를 교통량(Low, High)에 따라 0.5초 단위로 4가지 분포(정규, 음지수, 전이된 음지수, 피어슨 III)와의 유의성을 분석하였다. 적용 및 평가결과, 음지수분포와 전이된 음지수분포는 개발단계와 동일하게 모두 관측치와 예측치가 적합한 것으로 나타났다. 또한 정규분포와 피어슨 III분포에서는 일부 구간만 적합한 것으로 나타났을 뿐 나머지 경우에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

3. 소결

본 장에서는 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포모형 개발을 위한 방법론 및 가정을 제시하고, 실제 현장자료를 통해 적용가능성을 검토해 보았다. 방법론에 포함된 항목은 관측된 자전거교통류의 차두시간 데이터의 적용범위와 모형적용을 위한 교통량의 구분, 기존의 기초적 모형과 전이된 모형의 적용이다.

데이터의 적용범위를 규정해야 하는 이유는 현재 국내의 자전거교통류는 가족 등의 자전거군(群)을 형성하여 움직이는 경우가 많고, 이러한 교통류는 교통량에 의해서라기보다는 본인들이 차두시간을 선택하여 주행함을 의미함을 알 수 있었기 때문이다. 차두시간 분석에서 운전자 본인이 차두시간이 선택된 교통류는 일반적인 교통류분석에서는 포함되어서는 안 된다고 판단하였으며, 모의 현장실험을 통해 자전거교통류에서 운전자가 차두시간을 선택하였을 때의 시간을 조사하였다. 자전거동호회의 모의주행을 통해 일반적인 주행과 앞 자전거와의 차두시간을 최소화한 상태로 실험을 진행하였으며, 이는 앞뒤 자전거가 일행이라 하더라도 자전거운전능력에 따라 차두시간이 달라질 수 있음을 모사하기 위해서이다. 선택된 차두시간의 결정을 위해 차두시간 분석모형에 사용된 자전거

의 주행속도 평균을 조사하여 주행속도에 따른 차두시간을 결정하였으며, 차두시간 샘플에서 0.7초 이하가 되는 차두시간은 운전자가 선택한 차두시간으로 가정하여 실제 차두시간 분포 모형 추정을 위한 데이터분석에서는 제외하였다. 본 연구에서 제시된 0.7초의 차두시간은 실험자의 수와 실험환경 등이 변화하면 달라질 수 있다.

교통량의 구분은 차두시간 분포모형 개발에서 교통량이 적으면 평균과 표준편차가 커지게 되고, 교통량이 많아지면 평균과 표준편차가 작아지는 특성을 반영하기 위해 적용하였다. 본 연구에서는 자전거교통류를 낮은 수준의 교통량과 높은 수준의 교통량으로 구분하였다. 교통량의 기준은 전체 교통량을 분포를 고려하여 1분당 8대 미만은 낮은 수준의 교통량으로 하고 8대 이상은 높은 수준의 교통량으로 구분하여 분석하였다. 차두시간의 집계간격은 기존의 자동차교통류에서 일반적으로 적용해오던 0.5초를 적용하였다.

모형의 적용에서는 기존의 자동차교통류에서 사용되는 대표적인 분포모형을 자전거교통류에 적용해보았다. 적용된 분포는 기본적인 정규분포와 함께 음지수분포, 전이된 음지수분포, 피어슨 III분포이다. 전이된 음지수분포는 전이값을 0.5초를 적용하여 비교분석하였다. 만약 제시된 분포모형에서 자전거교통류의 예측치와 현장치에 대한 모형이 선정되지 않는다면 추가적인 모형을 제시하고자 하였다. 분석결과 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 적합한 것으로 나타났다. 반면, 정규분포와 피어슨 III분포는 통계적으로 적합하지 않은 것으로 나타났다. 음지수분포와 0.5초 전이된 음지수분포는 둘 다 적합한 것으로 나타났으나, 통계치를 비교하였을 때 전이된 음지수분포가 더욱 적합도가 높은 것으로 판단된다. 본 연구에서는 음지수분포의 전이값을 0.5초로 제시하였으며, 다른 전이값에 대한 1종 오류의 확률을 비교분석하기 위해 0.1초에서 0.2초 간격으로 0.9초까지 적용해보았다. 분석결과 대부분의 전이값에서 통계적인 검정을 통과하는 것으로 나타났으며, 전이값 0.5초에서 가장 1종 오류의 확률이 작은 것으로

나타났다.

모형개발과 정산을 위해 데이터집단을 2개의 그룹으로 분할하였으며, 앞의 데이터집단은 모형개발을 위해 사용되었고 개발모형의 적용 및 평가를 위해 두 번째 그룹의 데이터를 적용하였다. 차두시간 모형의 통계적 유의성 여부판단은 모형개발 단계와 동일하게 카이스퀘어 검정을 사용하였으며, 유의수준은 0.01로 하였다. 모형 개발단계와 동일하게 분석단위를 0.5초로 하고 좌측(안양)으로 이동하는 교통류와 우측(서울)으로 구분하여 4개 분포모형의 통계적 유의성 여부를 분석하였다. 모형의 유의성 분석 결과, 모형 개발단계와 동일하게 음지수분포와 전이된 음지수분포에서 방향과 교통량 구분 모두에서 이론치와 관측치간에 적합한 것으로 나타났다. 정규분포는 모든 방향과 교통량에서 적합하지 않은 것으로 나타났으며, 피어슨 III분포는 우측 높은 교통량에서만 적합한 것으로 나타났을 뿐 나머지는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

이번 장에서는 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포모형에 대한 개발방법론을 정의하고, 실제 현장 데이터를 이용하여 적용성을 검토해보았다. 그 결과 첫째, 자전거교통류는 자동차교통류와 달리 선택된 차두시간이 존재하며, 일반적인 차두시간 분포에는 제외되어야 할 것으로 나타났다. 둘째, 교통량의 구분은 자동차교통류와 유사하게 낮은 교통류와 높은 교통류로 구분하였다. 마지막으로 모형적용에서 음지수분포와 전이된 음지수분포가 적합한 것으로 나타났으며, 통계치를 비교하였을 때 전이된 음지수분포가 더욱 적합도가 높은 것으로 판단되었다. 개발된 모형의 적용 및 평가에서도 모형개발 단계와 거의 동일한 결과가 도출되었다.

본 연구에서 자전거교통류의 차두시간 분포모형으로 가장 1종 오류의 확률이 작은 모형은 음지수분포와 전이된 음지수분포이다. 포아송분포는 교통공학에서 사고발생분포와 차두시간분포, 차량도착분포 등에서 가장 많이 사용되는 분포이며, 음지수분포는 간격분포의 기본적인 형태로서 포아송분포에서 유도되는 분포이다. 따라서 본 연구에서 제시한 4가지 분포모형 중 정규분포와 피어슨 III분포보다 음지수분포를 따르는 것은

이론적으로도 합리적이라고 판단된다.

향후 본 연구에서 제시한 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포 모형의 개발 방법론 및 적용결과를 이용하여 공간적 및 시기적으로 다양한 데이터를 활용한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 특히 본 연구에서 제시한 자전거에 의해 차두시간이 결정된 교통류의 기준인 0.7초는 다양한 방법론 정립에 따라 변경될 수 있다. 또한 교통량의 높은 수준과 낮은 수준의 임계치인 1분당 8대는 본 연구에서 조사된 교통량에 의해 가정한 교통량으로써, 분석하고자 하는 대상구간의 교통량에 따라 변경이 가능하다.

제3절 연속류 자전거도로 용량분석

1. 자전거도로 용량분석 방법론

일반적으로 도로의 용량이라 함은 주어진 도로 조건에서 일정시간(15분)동안 무리 없이 최대 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값을 말한다. 도로용량을 분석하는 목적은 해당 도로의 용량을 정확히 산출함으로써 도로를 효율적으로 이해하고, 도로투자를 적절히 하도록 하는 데 있다. 도로용량을 산정하는 방법에는 크게 2가지가 있는데, 첫째는 차두시간 분포를 이용하여 구하는 방법이 있고, 두 번째는 실제 교통량의 관측자료를 이용하여 구하는 방법이 있다. 본 절에서는 국토해양부(2012)에서 제시한 도로용량 산정방법 중에서 본 연구에 적용가능한 방법을 요약하여 제시하고자 한다.

차두시간 분포를 이용하는 방법은 각 차량간 차두시간 또는 거리를 사용하여 도로용량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 용량상태에서 모든 차량의 통행속도는 제약을 받는다는 가정을 기반으로 있으며, 도로의 한 지점에서 관측된 차두시간 분포도의 시-공간도를 이용하여 용량을 구할 수 있다. 시-공간도의 2개의 꺾어진 수평선은 각 차량별 차두시간이며, 수직선은 차량간 차두거리를 말한다. 일정한 시간(T)동안 평균 차두시간과 평균 통행량은 식(3-3)과 같은 공식과 같이 시-공간도로부터 유도할 수 있다.

$$h_m = \sum_i h_i / n \quad q = n / T = 1 / h_m \quad \text{식(3-3)}$$

$$q = 3600 / h_m$$

여기서, h_m = 평균 차두시간(초)
 h_i = 각 차량별 차두시간(초)
 q = 교통량(대/시)

$n = T$ 시간동안 통과한 총 차량 댓수

$T =$ 관측시간(초)

본 연구에서는 기존 용량분석 방법을 기초로 자전거도로의 용량분석을 위한 방법론을 선정하고자 한다. 기존의 용량분석 방법은 국내뿐만 아니라 국외에서도 많이 사용되는 일반적인 분석방법으로써 한국의 도로용량 편람(KHCM)에서도 고속도로 일반구간과 연결로구간, 다차로도로, 2차로도로 등에서 적용하는 방법이다.

그러나 자전거도로는 기존의 자동차도로와 특성이 다르므로 기존의 방법을 사용하는 것은 무리가 있다. 그 이유는 기존 방법론에서 가장 중요한 조사내용 중의 하나가 혼잡상태에서의 교통류가 관측되어야 한다는 것인데, 자전거도로는 현실적으로 혼잡상태를 관측하기는 쉽지가 않다. 자전거도로를 주행하는 자전거운전자는 주행의 안전성을 고려하여 도로의 혼잡 이전에 자전거도로의 진입을 포기하거나, 자전거도로 이외의 통행로(차도 혹은 비포장 여유공간 등)를 선택하기 때문이다. 이는 2차로자동차도로의 용량분석에서 현장의 용량상태를 관측하지 못하여 정확한 용량을 산출하지 못하는 것과 유사하며, 국내뿐만 아니라 미국 HCM에서도 마찬가지이다.

용량상태를 현장에서 확인하기 위해 Li et al.(2014) 등의 연구에서는 차로수가 줄어드는 자전거도로를 선정하여 일시적인 용량상태의 교통량을 관측한 사례도 있다. 그러나 국내의 자전거도로 및 자전거이용자의 특성상 유사한 기하구조는 거의 없으며, 자전거이용자가 용량에 따른 지체를 감수하면서 자전거도로를 통행하는 교통류는 사실상 관측이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 연속류 특성을 가진 자전거도로의 용량 산정을 위해 다음을 가정한다.

- 자전거도로의 용량은 연속적으로 이동하는 자전거 교통류군(群) 내(內)에서 발생

- 자전거 교통류군은 최소 3대 이상의 자전거로 구성

첫 번째 가정의 이유는 자전거교통류는 현실에서 용량상태로 도달하지 않기 때문이며, 자전거 교통류군은 용량상태는 아니지만 일시적으로 용량상태를 모사하고 있다고 판단되기 때문이다. 두 번째 자전거 교통류군에 대한 구성에 대한 가정의 이유는, 2대의 자전거 역시 교통류군이긴 하나 주행속도의 차이로 인해 측정지점에서 일시적으로 형성된 교통류군일 가능성도 공존한다. 따라서 도로용량 분석을 위해 최소 3대 이상의 자전거 교통류군을 대상범위로 선정하였다.

또한 본 연구에서는 각 교통류군의 평균 차두시간은 교통류군을 대표한다고 가정하였다. 자전거 교통류군은 일시적으로 형성되는 용량상태로서, 하나의 값이 도로구간의 용량이라고 할 수는 없다. 만약 Y 를 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 n 개의 무작위표본의 합이라고 하면, Y 의 기댓값은 $n\mu$ 이고 표준편차는 $\sqrt{n\sigma}$ 이므로 확률변수 $(Y-n\mu)/\sqrt{n\sigma}$ 의 분포는 n 이 충분히 크면 표준정규분포로 근사한다. 여기에서 n 이 얼마나 커야 하는지에 대해서는 조금씩 이론이 다르나, 대략적으로 n 이 30보다 커야 한다고 알려져 있으며 이에 따라 식(3-4)와 같이 정규분포를 적용할 수 있다.

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad n \rightarrow \infty, \text{ 표준정규분포} \quad \text{식(3-4)}$$

따라서 본 연구에서는 자전거 교통류군을 현장에서 충분히 조사하여 (30개 이상) 실제 자전거도로의 용량으로 산출하고자 한다. 이를 종합하여 자전거교통류의 용량산출을 위한 방법론을 제시하면 다음과 같다.

[단계 1] 데이터 수집

연속류 자전거도로의 자전거교통류 주행영상 수집

타 교통류(인라인, 보행자 등)에 영향을 받은 데이터 삭제

[단계 2] 데이터 집계

최소 3대 이상의 연속된 자전거교통류 구분

차두시간 분석 프로그램을 이용한 데이터 취득
[단계 3] 차두시간을 이용한 도로용량 산출

$$q_c = 3600/h_m$$

2. 현장조사

연속류의 자전거도로의 용량분석을 위해 자전거통행이 많고 대표적인 구간인 한강자전거도로와 안양천자전거도로를 현장조사 대상구간으로 선정하였다. 한강자전거도로는 서울시를 가로지르는 상징성이 높은 구간이며, 서쪽으로 파주·일산·김포 방향의 자전거이용자들과 서울시내의 자전거이용자들이 가장 많이 이용하는 구간이다. 안양천자전거도로는 서울 서부지역과 안양·광명 방향의 자전거이용자들이 자주 이용하는 구간이다.

조사방법은 비디오카메라를 이용하여 정해진 지점에서 연속적으로 이동하는 자전거교통류를 촬영하였다. 보행자 및 인라인스케이트 등 타 교통류가 진입하여 자전거교통류가 통행에 영향을 받았다고 판단되는 경우는 데이터수집에서 제외하였다. 앞의 자전거도로 용량분석 방법론에서 제시한 바와 같이 독립적으로 주행하는 자전거는 용량분석에서는 제외하였으며, 최소 3대 이상의 연속된 교통류라고 인지되는 자전거만을 대상으로 자료를 수집하였다.

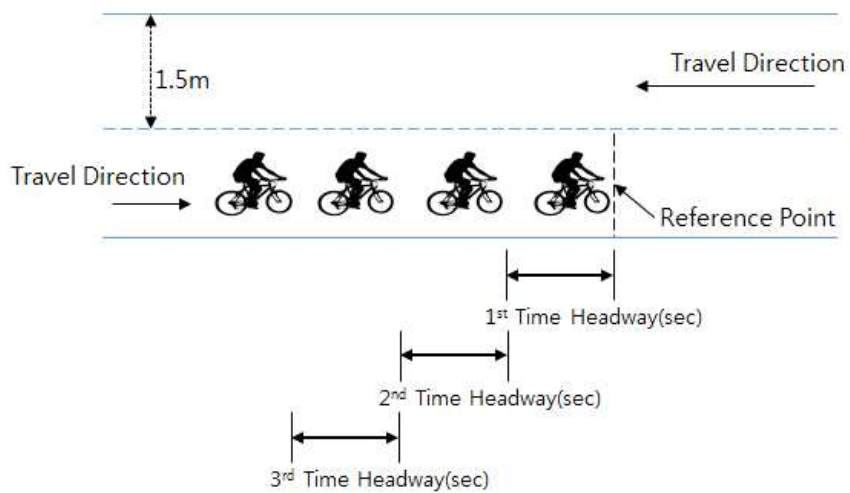
총 189개의 자전거 교통류군 데이터가 관측되었으며, 최소 3대에서 최대 11대까지 교통류를 형성하는 자전거교통류의 평균 차두시간이 데이터화되었다.

- 일시 : 2011년 10월 22일(토), 2016년 4월 9일(토)
- 장소 : 안양천 자전거도로, 한강 자전거도로
- 촬영시간 : 오전 10시~오후 5시



<그림 3-19> 자전거 교통류군 측정 전경

데이터 분석방법은 3장의 차두시간 분석방법과 동일하게 고정식 카메라를 이용하여 녹화한 후 자전거 교통류군의 차두시간을 측정하는 방식을 사용하였다. 차두시간은 비디오화면에 가상의 선을 표시한 후, 선행하는 자전거와 뒤따라오는 자전거의 시간차이를 기록하여 측정하였다. 차두시간 데이터의 수집방법을 도식화하면 <그림 3-20>과 같다.

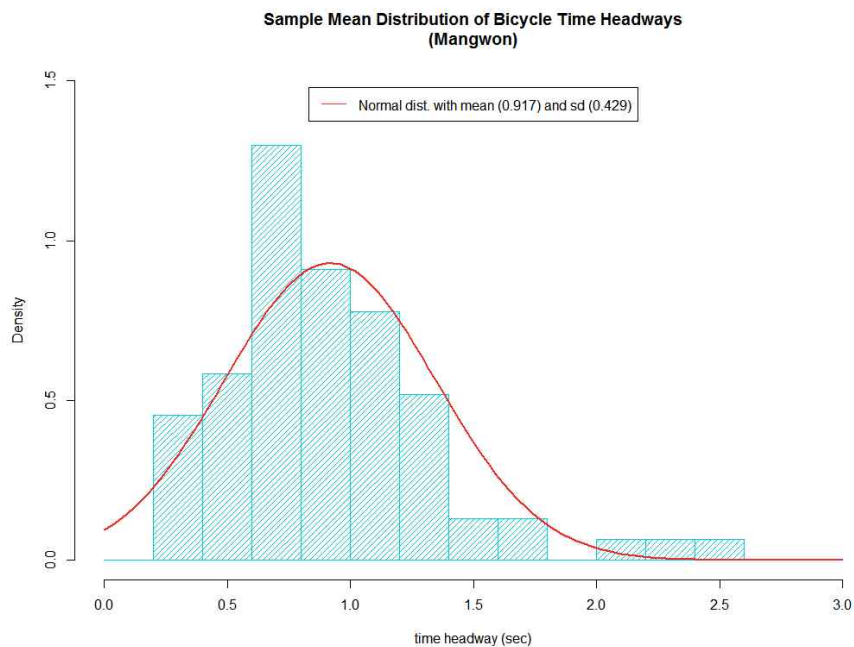


<그림 3-20> 교통류군의 차두시간 측정 방법

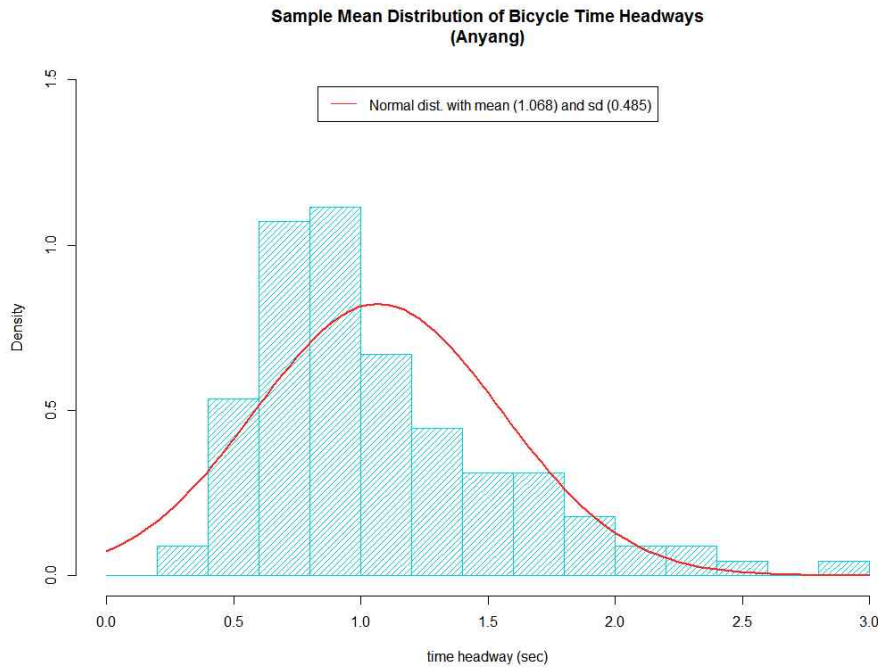
3. 자전거도로 용량 추정

한강 자전거도로와 안양천 자전거도로에서 조사된 총 189개의 자전거 교통류군 데이터를 이용하여 자전거도로의 용량을 산출하고자 하였다. 한강 자전거도로에서는 총 77개의 데이터가 수집되었고, 안양천 자전거도로에서는 112개의 데이터가 수집되었다.

한강 자전거도로 자전거 교통류군의 관측된 최대 차두시간은 2.56초이고 최소는 0.31초였다. 평균 차두시간은 0.92초이며, 표준편차는 0.43으로 나타났다. 안양천 자전거도로는 최대 차두시간이 2.81초로 한강 자전거도로보다 조금 높게 나타났으며, 최소 차두시간은 0.27초였다. 평균 차두시간은 1.07초로 역시 한강 자전거도로보다 다소 높았으며, 표준편차는 0.49로 나타났다. <그림 3-21>과 <그림 3-22>는 한강 자전거도로와 안양천 자전거도로의 차두시간별 빈도수를 나타내고 있다.



<그림 3-21> 차두시간 분포(한강)

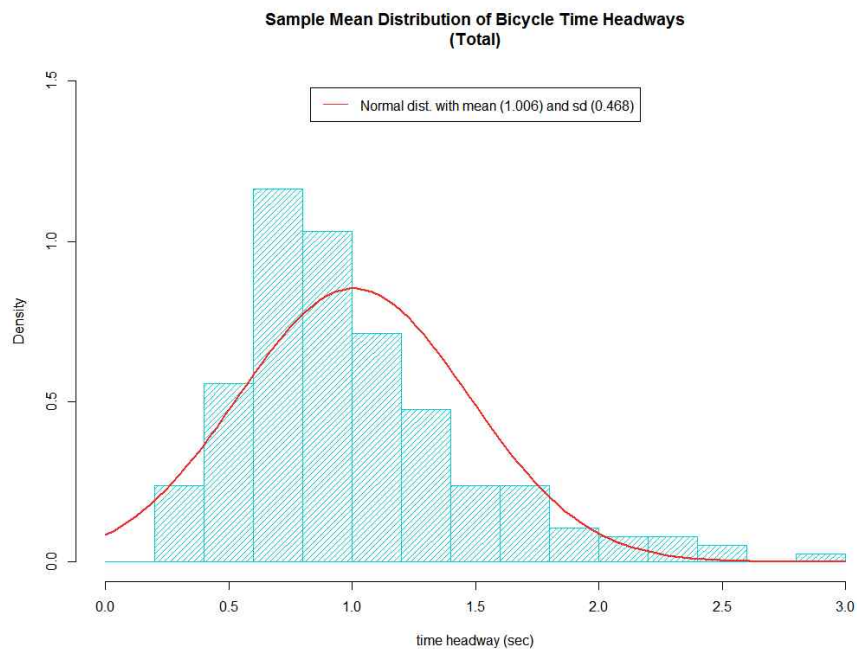


<그림 3-22> 차두시간 분포(안양천)

전체 189개의 자전거 교통류군을 대상으로 자전거도로의 용량을 산출하였다. 가장 일반적으로 적용할 수 있는 방법은 전체 자전거 교통류군의 차두시간에 대한 평균값을 통해 용량을 산정하는 방법이다. 방법론분석에서 제시하였듯이, 자전거 교통류군의 개수가 30개가 넘으므로 정규분포를 따른다고 가정하여 평균값을 적용하였다. 전체 자전거 교통류군의 평균 차두시간은 1.01초로서, 이를 용량으로 환산하면 3,578대/시가 된다. 이상적인 용량을 구하기 위해서 최소 자전거 교통류군의 차두시간인 0.27초를 적용하면 용량은 13,187대/시가 되나, 이는 자전거 교통류군 중 일부에서 나타나는 차두시간이다. 도로 및 교통 분야에서 자주 사용되는 전체 데이터값의 85퍼센타일 값을 적용하면 차두시간이 0.59가 되어 용량은 6,061대/시가 된다. 각 구분별로 자전거도로의 용량을 제시하면 <표 3-15>와 같다.

국외의 자전거도로 용량을 산정한 연구결과는 최소 1,500대/시에서 최

대 9,600대/시까지 다양하게 제시되고 있다. 이는 자전거도로가 자동차도로와는 달리 자전거도로 폭에 따라 2차로 또는 3차로처럼 운영되고 있기 때문이다. 본 연구의 대상구간인 한강 자전거도로와 안양천 자전거도로는 1.5m의 폭에 추월행태가 자주 관측되지 않았다. 그러나 자전거교통량이 현재보다 크게 증가하게 되면 추월행태가 늘어나게 되어 본 연구에서 제시된 용량보다 더 큰 값이 산출될 수 있으며, 이는 향후 자전거교통량의 증가시에 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.



<그림 3-23> 차두시간 분포(전체)

<표 3-15> 자전거도로 차두시간에 따른 용량

구분	차두시간(초)	용량(대/시)	비고
최대	2.81	1,280	
최소	0.27	13,187	
평균	1.01	3,578	표준편차(0.47)

4. 자전거도로 용량의 의미 및 활용방안

도로구간의 용량은 분석하고자 하는 특정 도로구간의 기하구조와 교통류 상태 등에 영향을 받지만, 일반적으로 하나의 값을 산출하여 장래시설의 계획과 설계에 적용된다. 특히 도로용량을 산출하기 위한 방법에서 어떤 방법론을 적용했는지, 과다추정되는 값은 배제하였는지 등에 따라 그 값은 달라질 수 있다. 본 연구에서 제시한 자전거도로의 용량 역시 혼잡상태를 측정할 수 없는 한계를 극복하기 위해 자전거 교통류군을 이용하여 제시하였다. 국내의 자전거도로의 폭은 최소 1.2m에서 1.5m를 규정⁹⁾하고 있으므로 본 연구에서 제시한 도로용량은 동일한 자전거도로 폭에서는 적용이 가능할 것으로 판단된다.

국외의 연구결과와 비교할 때, 유사한 자전거도로 폭에 대한 도로용량을 보면 Raksuntorn and Khan(2003)는 1.53m(5ft)에서 3,000대/시를 제시하였으며, Li et al.(2014)는 1.2m에서 3,960대/시, Ferrara(1975)는 3,060대/시를 제시하여 본 연구에서 제시한 1.5m에서 3,600대/시와 큰 차이를 보이지는 않는다. 다만 Botma(1995)와 Navin(1994)의 연구에서와 같이 자전거도로의 폭이 2m 이상이 되면 도로용량이 각각 6,400대/시와 10,000대/시가 제시되어, 향후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

기본적으로 도로용량분석의 목적은 어떤 도로시설이 수용할 수 있는 최대교통량을 추정하는 것이다. 또한 교통시설이 용량에 도달하게 되면 운영상태는 극도로 나빠지므로, 교통시설을 계획 또는 설계할 때는 이러한 수준에 이르지 않도록 해야 한다. 그러므로 어떤 교통시설이 초기에 주어진 일정수준의 운영상태를 유지할 수 있을 정도의 교통량을 추정하

9) “자전거 이용시설의 구조·시설 기준에 관한 규칙”에 의해 자전거도로의 폭은 하나의 차로를 기준으로 1.5m 이상으로 하고, 지역상황 등에 따라 부득이하다고 인정되는 경우에는 1.2m 이상으로 하도록 하고 있음. 1.5m의 설계기준은 자전거이용자의 주행폭과 사행폭, 여유폭을 고려한 실험결과를 바탕으로 제시되었음(2010, 행정자치부). 자전거 자체폭 및 자전거도로 폭 등에 관한 자세한 설계기준은 “자전거이용시설 설치 및 관리지침(행정자치부·국토교통부)”에서 제시하고 있음.

는 것이 용량분석의 또 다른 목적이라 할 수 있다. 즉 용량분석은 주어진 수준의 운영상태를 나타낼 수 있는 교통량이 얼마인가를 추정하기 위한 일련의 과정으로서 기존시설을 분석하고 개선하며, 장래시설을 설계하거나 계획할 때 필요하다. 용량분석은 현재 교통시설의 상태를 분석하는 운영분석(Operational Analysis)과 장래시설의 계획 및 설계분석(Planning and Design Analysis)으로 나눌 수 있다(도철웅, 2004). 본 연구에서 제시한 자전거도로의 용량분석은 예상되는 교통조건과 계획하는 서비스수준이 주어졌을 때 그 서비스수준을 유지하기 위해 필요한 교통시설의 크기를 결정하는데 활용될 수 있다. 그러나 자전거이용자는 일반적으로 교통용량 상태를 받아들이지 않을 뿐 아니라, 교통용량상태가 발생하면 노선을 변경하거나 때로는 법적으로 이용할 수 없는 통행을 한다. 또한 대부분의 자전거도로의 교통량은 용량에 비해 크게 작기 때문에 차도와 같이 도로용량 상태가 계속되는 구간은 발생하지 않는다. 반면 자전거교통량의 주행거리는 자동차에 비해 크게 작기 때문에, 만약 일반적인 도로용량의 목적과 같이 교통시설의 크기(차로 수 등)를 결정하는 데 활용하기엔 무리가 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 자전거도로의 용량은 기존의 도로용량과 같이 장거리 노선의 차로수 결정에 활용되기보다는 단거리 구간의 반복되는 정체구간을 분석하는데 활용이 가능하다. 남한강자전거도로의 양평 등 일부구간과 같이 자전거교통량이 일시적으로 증가하는 구간을 선정하고, 이러한 구간의 교통시설에 대한 대책에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 적용될 수 있는 교통시설은 일시적인 차로수 증가(1km 이상)나 양보차로 혹은 추월차로(1km 이하) 등 기존의 도로구간에서 적용하고 있는 방법의 적용이 가능하다. 본 연구에서 제시한 용량값은 목표 서비스수준 분석에 활용하여 교통시설에 대한 정책에 반영이 가능하다. 국내 도시부 자전거도로와 한강자전거도로 등은 교통량이 많으므로 목표 서비스수준을 D로 적용할 수 있으며, 낙동강 자전거도로와 금강자전거도로 등 교통량이 비교적 적은 자전거도로는 목표 서비스수준을 C로 적용하여 교통시설의 평가가 가능할 것으로 판단된다.

5. 소결

본 장에서는 국내 연속류 자전거교통류의 도로용량을 산출하기 위한 방법론을 제시하고 현장자료를 수집하여 도로용량을 제시하고자 하였다. 일반적으로 도로용량을 산정하는 방법은 차두시간 분포를 이용하는 방법과 실제 교통량의 교통량-속도 관측자료를 이용하는 방법이 있으나, 이는 혼잡상태에서의 교통류가 반드시 관측되어야 한다. 그러나 자전거도로는 현실적으로 주행의 안전성을 고려하여 도로의 혼잡 이전에 자전거도로의 진입을 포기하거나, 자전거도로 이외의 통행로(차도 혹은 비포장 여유공간 등)를 선택하기 때문에 혼잡상태를 관측하는 것은 거의 어렵다. 따라서 본 연구에서는 혼잡상태를 모사할 수 있는 자전거 교통류군을 이용하여 용량을 산출하고자 하였다. 자전거 교통류군은 적어도 3대 이상의 교통류로 정의하고, 각 교통류군의 평균 차두시간은 교통류군을 대표한다고 가정하였다.

전체 189개의 자전거 교통류군을 대상으로 자전거도로의 용량을 산출하고자 하였으며, 전체 자전거 교통류군의 차두시간에 대한 평균값을 통해 용량을 산정하는 방법을 적용하였다. 전체 자전거 교통류군의 평균 차두시간은 1.01초로서, 이를 용량으로 환산하면 3,578대/시가 된다. 이상적인 용량을 구하기 위해서 최소 자전거 교통류군의 차두시간인 0.27초를 적용하면 용량은 13,187대/시가 되나, 이는 자전거 교통류군 중 일부에서 나타나는 차두시간이다. 교통분야에서 자주 사용되는 전체 데이터 값의 85퍼센타일 값을 적용하면 차두시간이 0.59초가 되어 용량은 6,061대/시가 된다.

본 연구에서 산출한 자전거도로의 용량은 1.5m의 추월이 거의 발생하지 않는 상태에서의 용량으로 적용이 가능하다. 만약 자전거도로의 폭이 커지거나 추월이 지속적으로 발생한다면, 도로구간의 용량은 본 연구에서 제시한 용량보다 더 커질 수 있다. 또한 자전거교통량이 지속적으로 증가하여 일반 차도와 같이 용량상태를 관측할 수 있다면 본 연구의 결

과와 다른 결과가 제시될 수 있을 것이다.

또한 본 연구에서 제시한 자전거도로의 용량은 기존의 도로용량과 같이 장거리 노선의 차로수 결정에 활용되기보다는 단거리 구간의 반복되는 정체구간을 분석하는데 활용이 가능하다. 전체 노선 중에서 자전거교통량이 일시적으로 증가하는 구간을 선정하고, 이러한 구간의 교통시설에 대한 대책에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 적용될 수 있는 교통시설은 일시적인 차로수 증가(1km 이상)나 양보차로 혹은 추월차로(1km 이하) 등 기존의 도로구간에서 적용하고 있는 방법의 적용이 가능하다.

제4장 회피행태 기반 횡적 주행 안전성 분석

제1절 개요

제3장에서도 언급하였듯이 본 연구는 자전거 교통류의 특성분석을 통해 자전거 주행 안전성에 관한 분석을 실제 현장조사와 실험을 통해 제시하고자 하였다. 내용적 범위로서 자전거의 주행을 자전거의 진행방향인 종적 주행과 횡단방향인 횡적 주행으로 구분하여 제시하고 있다. 본 장에서는 자동차의 자전거의 회피행태 분석을 통해 안전 이격거리와 회피행태를 최소화 할 수 있는 길어깨폭을 제시하고자 한다.

자전거는 차도에서 주행할 경우 도로교통법(제13조의2)에 따라 차로의 우측 가장자리로 통행해야 한다¹⁰⁾. 차도에서 자전거는 필수적으로 자동차와 측면 상충이 발생하게 되는데, 보행자와는 달리 자동차의 주행속도는 자전거에 비해 높은 것이 일반적이다. 이로 인해 차도에서 자전거사고는 지속적으로 증가하고 있으며, 자동차 운전자는 자전거가 전방에 위치할 경우 의도적으로 회피하게 된다¹¹⁾.

차도에서 자전거를 추월하는 자동차가 안전확보를 위해 어느 정도의 이격거리를 유지해야 하는지에 대한 규정이 현재 국내에서는 없다. 다만 도로교통법(제19조 2항)에 자전거와의 충돌을 피할 수 있는 필요한 거리를 확보하여야 하는 것으로 규정하고 있다. 국외에서는 차도에서 자전거

10) 도로교통법에서는 자전거가 차로의 우측 가장자리로 통행한다고만 규정하고 있으며, 길가장자리 구역선에서 어느정도의 이격을 해야하는지에 대한 정확한 규정은 없음. 다만 일반적으로 차로폭의 절반(1/2)을 기준으로, 절반의 오른쪽 공간을 이용하는 것으로 해석되고 있음. 만약 우측 끝 차로가 아닌 다른 차로를 자전거가 이용할 경우 법규위반으로 범칙금이 부과될 수 있음.

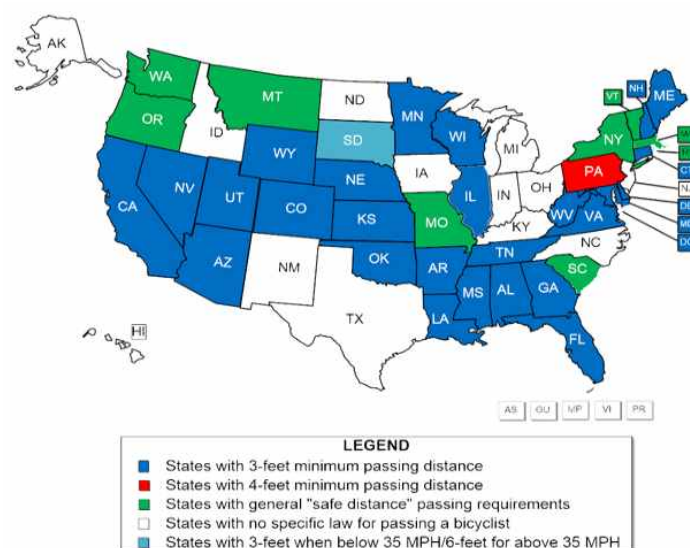
11) 실제로 2015년 7월에 인터넷을 통해 공개된 영상에서, 일반국도를 이용해 속초로 향하던 고속버스가 차도 우측으로 주행하는 자전거를 위협하는 장면이 공개되어 큰 사회적 반향을 일으킴. 법적으로는 자전거운전자의 잘못이 없으나, 차도에서 자동차와 공존하는 방법에 대해 법적·사회적 토론의 발단이 됨.

운전자의 안전성 확보를 위해 <그림 4-1>과 같이 회피거리를 확보하도록 규정하고 있다¹²⁾.



<그림 4-1> 자동차와 자전거의 이격거리 규정

실제로 프랑스, 스페인, 독일, 포르투갈 등에서는 1.5m를 이격하도록 하고 있고, 호주에서는 도로의 제한속도에 따라 60kph이상에서는 1.5m, 60kph이하에서는 1.0m를 제시하고 있다. 미국은 주(州)마다 법이 다르나, <그림 4-2>와 같이 자동차가 자전거를 추월할 경우 이격거리를 3ft나 4ft 등 다양하게 규정하고 있다¹³⁾.



<그림 4-2> 미국 주(州)별 이격거리 규정

12) <http://irishcycle.com>

13) <http://www.ncsl.org>

본 연구의 회피행태 분석에 대한 목적은 2가지이다. 첫째는 왕복2차로 도로에서 자전거를 추월하는 자동차의 이격거리를 분석하고 이를 통해 자동차와 자전거의 안전 이격거리를 제시하는 것이다. 둘째는 자전거운전자의 적극적인 안전성 향상을 위해, 자동차가 자전거를 회피하지 않고 주행할 수 있는 길어깨폭¹⁴⁾을 산출하는 것이다.

첫 번째 연구결과는 자동차와 자전거의 안전 이격거리를 제시함으로써 자동차운전자의 명확한 의사판단을 가능하게 하는 동시에 자전거운전자의 차도주행에 따른 안전성을 확보할 수 있다. 또한 도로교통법에 명확한 이격거리를 제시할 수 있는 근거가 될 수 있다. 두 번째 연구결과는 자전거교통량이 많은 도로구간에서 기존의 길어깨(갓길)폭을 확보하여 자동차와 자전거의 안전한 통행을 확보하고, 도로관리청에서 자전거의 안전성 향상을 위한 도로사업의 근거가 될 수 있다.

제2절 회피행태 현장실험

1. 현장실험 개요

자동차와 자전거의 이격거리를 측정하기 위해 다음과 같은 기준을 만족하는 구간을 검색하였다. 첫째, 왕복 2차로 도로로서 데이터수집의 용이성을 위해 자동차 교통량이 일정수준 이상 되는 구간이어야 하며, 둘째 영상촬영을 위한 여유공간이 확보되는 구간이어야 한다. 셋째, 급경사나 회전 반지름이 작아 실험자의 안전성이 확보되지 못하는 곳은 배제하였다.

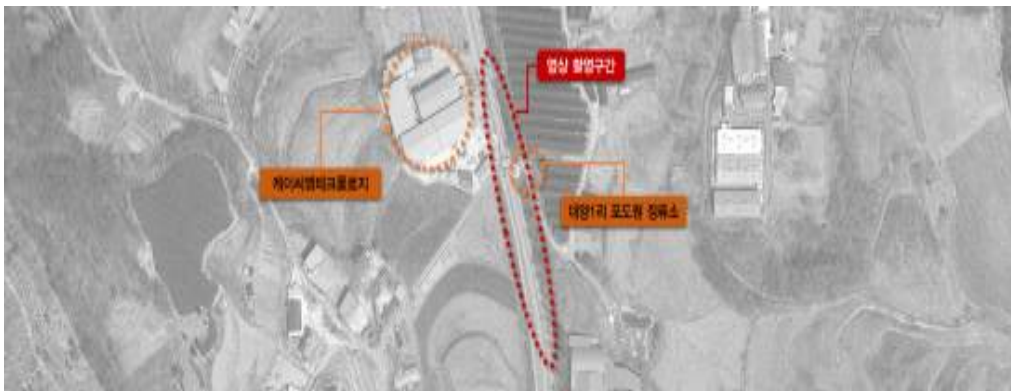
실험은 주중 오전7시부터 시작하여 오후 4시까지 수행하였으며, 실험자의 안전을 위해 시작점과 끝점에는 안내요원을 배치하였다¹⁵⁾. 실험에

14) 국내의 길어깨폭 규정은 설계속도 60~80kph일 때 1.5m이며, 자전거의 주행 행태를 고려할 때 현재의 기준값은 회피행태의 발생가능성이 높음.

15) 실험구간의 시종점에 안내요원의 존재로 인해 운전자들의 주행행태에 일부

사용되는 자전거는 산악용이나 경기용이 아닌 일반 자전거를 선정하였다. 실험구간 촬영을 위해 약 10m 높이에서 직각에 가깝게 카메라를 설치하였으며, 150m 구간 촬영을 위해 3대의 카메라를 사용하였다. 실험구간의 시점과 종점에서는 무전기를 통해 실험자와 연락하였으며, 실험 중 과속 또는 대형차량이 실험구간에 진입하는 경우에는 실험을 일시 중지하였다.

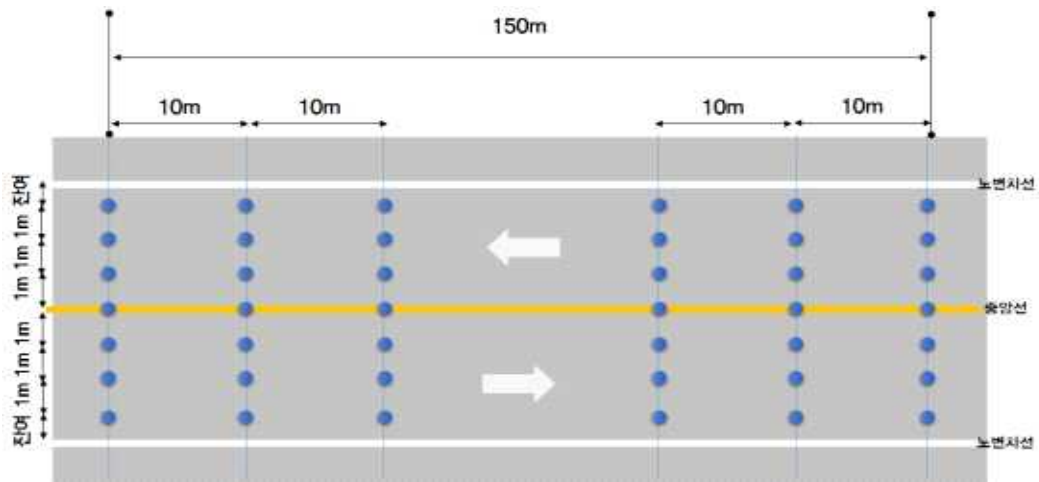
- 일시 : 2015년 8월 13일(목)
- 장소 : 경기도 화성시 향남읍 43번 국도
- 촬영시간 : 오전 8시~오후 5시



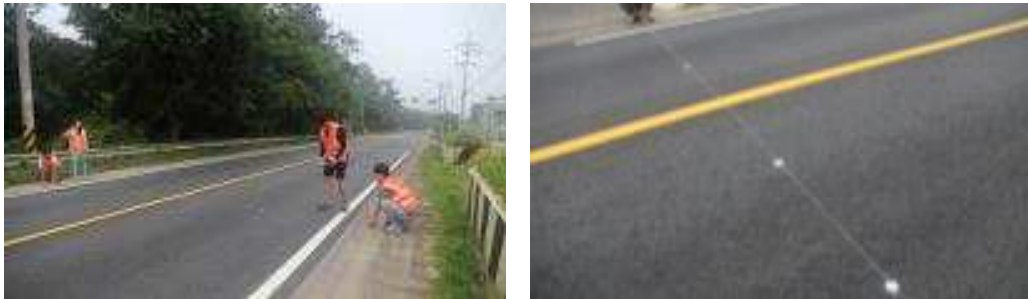
<그림 4-3> 회피행태의 현장실험 위치(출처 : 구글맵)

실험구간의 촬영 이후 자동차와 자전거의 위치를 파악하기 위해 노면에 노면표시를 하였다. 횡방향은 길어깨와 중앙차로 사이에 1m 간격으로 원형마킹을 하였으며, 종방향은 10m 간격으로 원형마킹하여 분석의 기준점이 되도록 하였다. 총 마킹된 지점 개수는 16개(0~150m)이며, 횡방향의 마킹은 중앙선을 기준으로 10m씩 표시하고, 차선까지의 거리(30cm)는 영상분석시에 고려하였다. <그림 4-4>는 종방향과 횡방향의 노면마킹 위치를 도식화한 것이며, <그림 4-5>는 노면마킹의 실제 표시와 형태를 보여주고 있다.

영향이 있었을 수도 있으며, 영향의 최소화를 위해 안내요원을 시점과 종점에서 일정간격 떨어진 곳에 위치함.



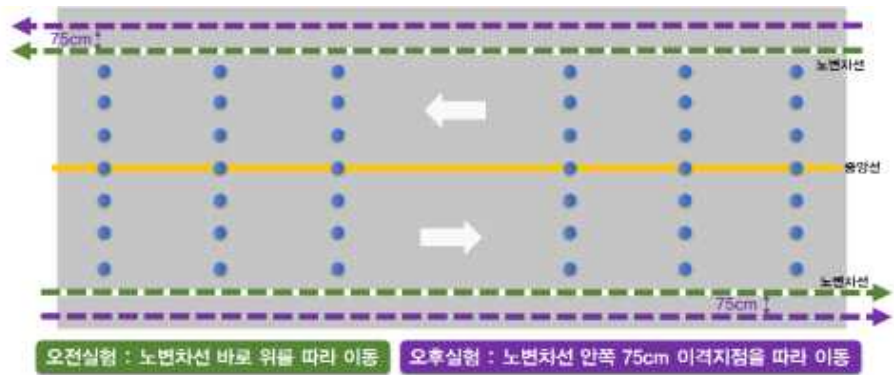
<그림 4-4> 이격거리 산출을 위한 노면마킹 방법



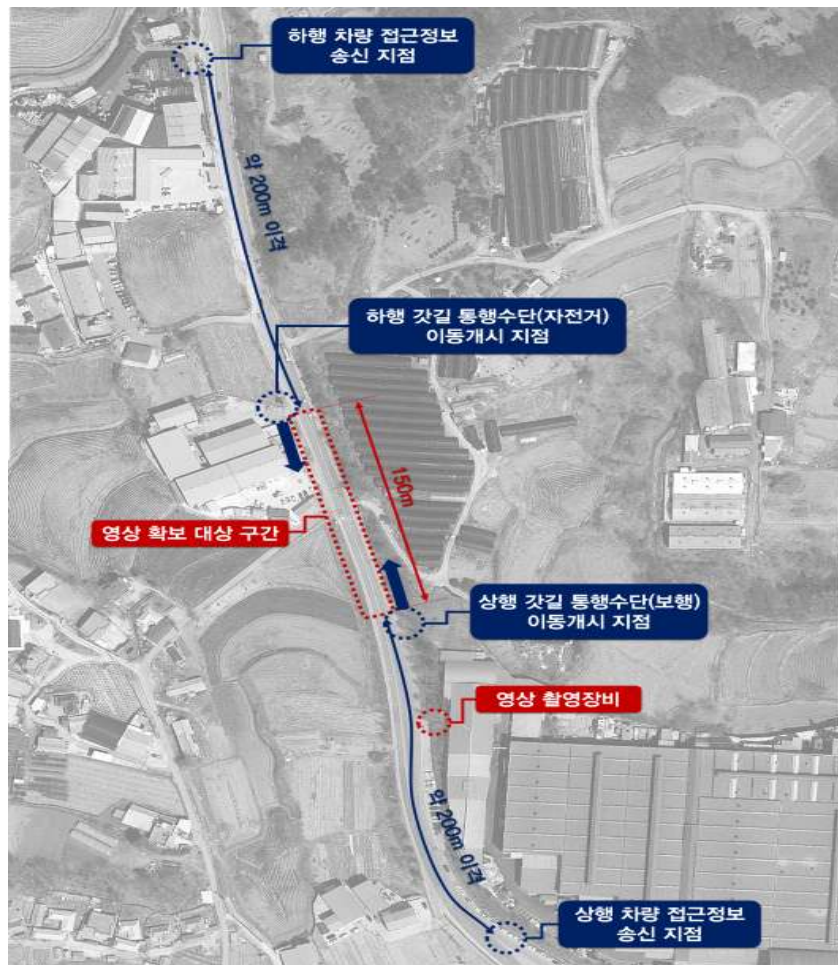
<그림 4-5> 이격거리 산출을 위한 노면마킹 형태

자전거는 도로교통법에 따라 우측차로 또는 길가장자리구역선으로 주행하는 것이 일반적이나, 많은 자전거운전자들이 길어깨로 주행하는 경우도 많다. 길어깨의 본래 용도는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(해설), 2012」에서 도로의 주요 구조부를 보호하거나 일시적인 대피장소 등이며, 자전거와 보행자 등의 통행장소로 제공되는 곳이다¹⁶⁾. 본 연구의 공간적 범위는 자전거도로가 없는 차도이므로, 자전거의 일반적인 통행특성을 추가적으로 분석하기 위해 실험을 2개의 시나리오로 구분하여 길가장자리구역선으로 주행하는 형태와 길어깨로 주행하는 형태로 구분하여 실험하였다.

16) 자전거와 보행자는 자전거도로와 보행자도로가 있는 곳에서는 차도의 길어깨를 이용해서는 안됨.



<그림 4-6> 통행방법에 따른 실험 시나리오



<그림 4-7> 실험구간 시·종점 및 촬영구간(출처 : 구글맵)

2. 데이터 분석방법

수집된 데이터는 1/30초 프레임 단위 분석이 가능한 Adobe Premier 프로그램을 통하여 재생할 수 있는 코덱형태로 인코딩하는 작업을 수행하였다. 데이터 분석단계에서 풍압으로 인한 촬영앵글변화로 구간 마킹 지점의 식별이 어렵거나, 샘플자체가 부족한 경우, 오후시간대 가로수 등으로 인한 음영발생으로 구간 마킹지점의 식별이 어려운 경우는 데이터에서 제외하였다.

<표 4-1> 데이터 수집 및 적정성 판단

파일번호	시간구분			분석대상 판단	비고
1	오전	08:34 ~ 08:47	13min	O	
2		08:47 ~ 09:00	13min	O	
3		09:00 ~ 09:13	13min	O	
4		09:13 ~ 09:26	13min	O	
5		09:26 ~ 09:39	13min	O	
6		09:39 ~ 09:52	13min	O	
7		09:52 ~ 10:05	13min	O	
8		10:05 ~ 10:18	13min	O	
9		10:18 ~ 10:31	13min	O	
10		10:31 ~ 10:44	13min	O	
11		10:44 ~ 10:57	-	X	풍압으로 인해 구간 확인 불가
12		10:57 ~ 11:10	-	X	
13		11:10 ~ 11:23	-	X	
14		11:23 ~ 11:36	-	X	

<표 4-1> 데이터 수집 및 적정성 판단(계속)

파일번호	시간구분			분석대상 판단	비고
15	오후	13:30 ~ 13:43	-	X	카메라 재설치
16		13:43 ~ 13:56	13min	O	
17		13:56 ~ 14:09	13min	O	
18		14:09 ~ 14:22	13min	O	
19		14:22 ~ 14:35	-	X	샘플 부족
20		14:35 ~ 14:48	13min	O	
21		14:48 ~ 15:01	13min	O	
22		15:01 ~ 15:14	13min	O	
23		15:14 ~ 15:27	13min	O	
24		15:27 ~ 15:40	-	X	샘플 부족
25		15:40 ~ 15:53	13min	O	
26		15:53 ~ 16:06	-	X	음영 등으로 인한 구간마킹 확인 어려움
27		16:06 ~ 16:19	-	X	
28		16:19 ~ 16:32	-	X	
총 영상자료 분석대상 시간 합계			3h 56min	-	

영상자료 코딩은 자전거를 회피하여 통행하는 차량 1대를 기준으로, 차량이 10m를 지날때마다 차종(승용차/버스/소형트럭/중형트럭/대형트럭), 해당지점 도착시 통행 시각(1/30sec 단위), 갓길~조수석 전륜 횡방향 이격거리(조수석 측 전륜 기준 0.1 m 단위), 갓길 통행수단의 상대종방향 위치(종방향 1.0 m 단위)를 기록하였다. 자전거가 통행을 시작하고 자동차와 동일한 위치시에 기록을 추가하였다.



<그림 4-8> 구간별 영상자료 코딩방법

차량-갓길통행수단 동행방향 동행지점 위치시 전후 10m 구간의 사이에 영상 추가하고 1m 단위로 위치를 기록함

샘플별 ID 부여 (1회 입력시 하단 셀 자동 기입)		차량 기록(1승용차/2버스/3소형트럭/4중형트럭/5대형트럭) (1회 입력시 하단 셀 자동 기입)		갓길통행수단 구분(0없음/1보행자/2자전거) (1회 입력시 하단 셀 자동 기입)	
ID	차종	통행시간 (시분초)	차량	구분	갓길통행수단
			종방향 위치 (m)	횡방향 위치 (m)	주행속도 (m/sec)
1	3	00:02:24:21	0	1.4	18.75
1	3	00:02:25:07	10	1.5	18.75
1	3	00:02:25:23	19	1.6	16.67
1	3	00:02:25:25	20	1.6	16.67
1	3	00:02:26:13	30	1.6	16.67
1	3	00:02:27:02	40	1.4	15.79
1	3	00:02:27:20	50	1.3	16.67
1	3	00:02:28:04	60	1.2	21.43
1	3	00:02:28:23	70	1.0	15.79
1	3	00:02:29:13	80	0.8	15.00
1	3	00:02:30:02	90	0.8	15.79
1	3	00:02:30:19	100	0.7	17.65
1	3	00:02:31:05	110	0.7	18.75
1	3	00:02:31:23	120	0.7	16.67
1	3	00:02:32:14	130	0.8	14.29
1	3	00:02:32:29	140	0.8	20.00
1	3	00:02:33:16	150	0.8	17.65

차량 종방향 10m 단위 마킹지점 도달시
갓길로부터의 이격거리(m) 기록(0.1m 단위)

차량 종방향 10m 단위 마킹지점 도달시
동행시각 기록

차량 10m 단위 마킹지점 도달시
갓길통행수단의 상대위치 기록(종방향)

1개 샘플 data set

<그림 4-9> 분석개체별 영상자료 입력방법

제3절 자전거 안전 이격거리 분석

1. 기초자료 분석

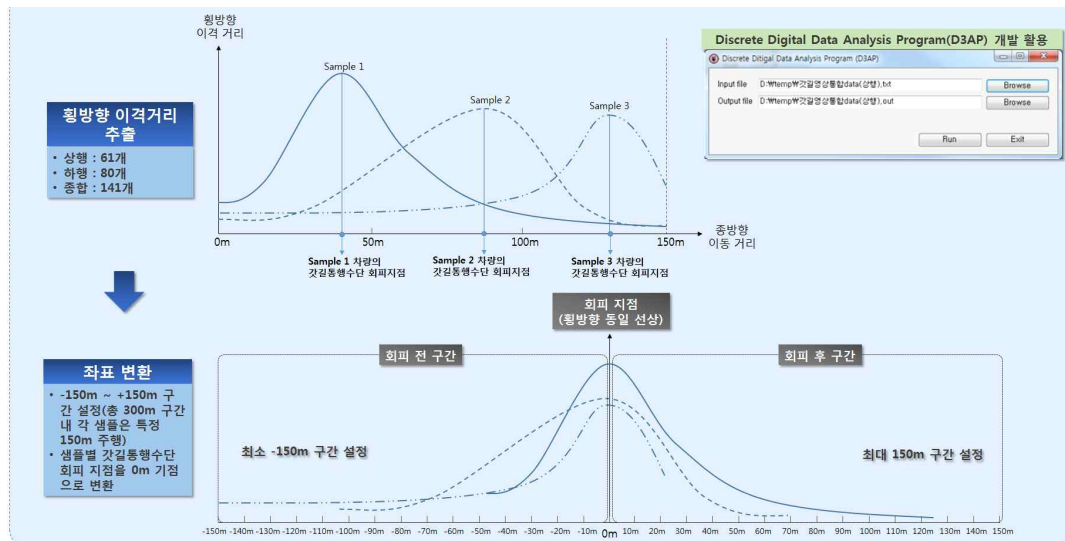
횡방향 이격거리는 영상촬영 중에 자동차가 자전거와 동일선상에 위치하는 경우를 1개의 Data Set으로 정의하였다. 자료수집 대상구간은 비교

적 직선구간이긴 하나, 기하구조의 특성이 이격거리에 영향을 미칠 수 있으므로 상행과 하행으로 구분하여 분석하였다. 횡방향 이격거리의 분석에 포함된 유효데이터수는 <표 4-2>와 같이 141개가 수집되었다. 일반적으로 표본집단의 개수가 30이 넘으면 표본집단의 평균이 정규분포를 따르므로 수집된 유효데이터수는 대표성이 있다고 판단하였다.

<표 4-2> 분석 유효데이터 수

구분	상행	하행	합계
영상코딩 전체 샘플수	61	80	141

자동차와 자전거는 실험구간(150m)내에서 무작위적으로 동일선상에 위치하게 되므로 각 지점별로 이격분포가 발생하게 된다. 기본적인 이격거리를 산출하기 위해서 동일선상에 위치하는 점을 중앙으로 하는 그래프를 도식화하였다.



<그림 4-10> 이격거리 그래프의 중앙 좌표변환

자동차가 자전거와 동일직선상에 위치할 경우를 추월지점이라고 정의할 때, 각 Data Set별로 X축의 범위가 다르기 때문에 본 연구에서는 추

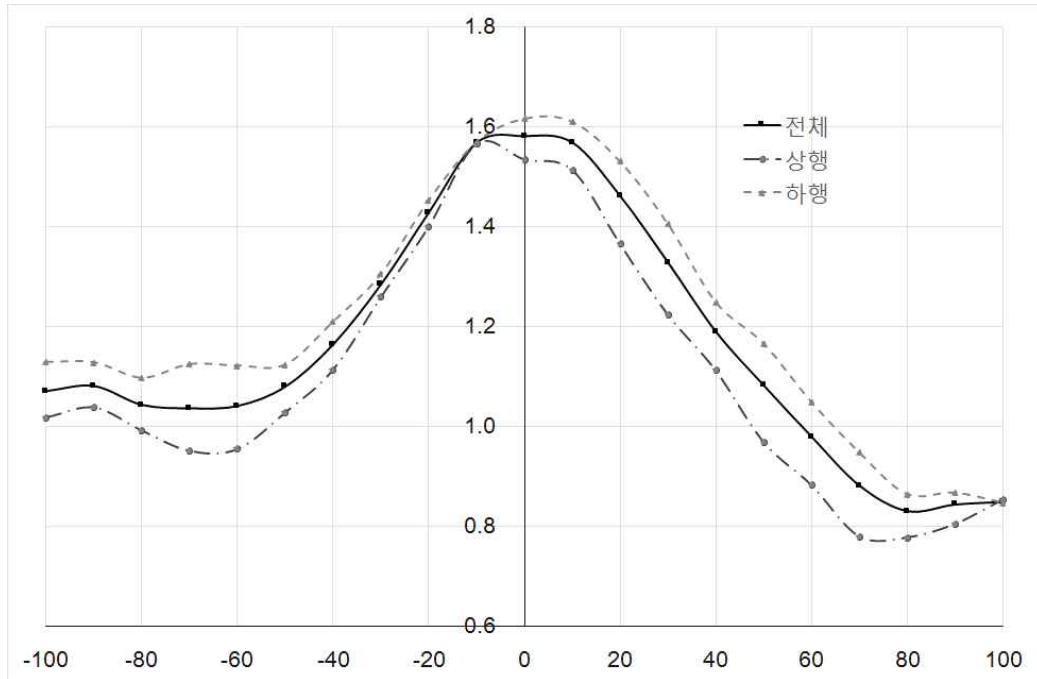
월지점을 0으로 하고 X축을 -100m에서 +100m로 설정하였다¹⁷⁾. 각 Data Set의 개수는 <표 4-3>과 같다.

<표 4-3> 추월지점 기준 Data Set의 개수

구분	구간	개수
추월전	-100	47
	-90	59
	-80	63
	-70	79
	-60	84
	-50	89
	-40	101
	-30	114
	-20	131
추월지점	-10	141
	0	141
추월후	+10	141
	+20	133
	+30	126
	+40	120
	+50	114
	+60	106
	+70	94
	+80	82
	+90	78
	+100	62

17) $\pm 100\text{m}$ 이상에서는 자동차가 자전거를 인지하지 않고 독립적인 주행을 한다고 판단하여 데이터범위를 $\pm 100\text{m}$ 로 정함.

이격거리를 상행과 하행으로 구분하여 도식화하면 <그림 4-11>과 같으며, 상행과 하행에서 유사한 분포를 보이고 있다.



<그림 4-11> 자동차의 이격 궤적(전체/상행/하행)

추월전과 추월지점, 추월후를 기준으로 상행과 하행, 전체의 이격거리를 살펴보면 <표 4-4>와 같다. 추월전에는 1m를 조금 상회하는 이격거리가 관측되었으며, 자전거와의 거리가 20m 이하가 되면 1.5m 가까이까지 이격하고 추월지점이 되면 평균 1.58m의 이격거리가 관측되었다. 상행과 하행을 구분하였을 때, 상행은 추월지점에서 1.53m이고 하행은 1.62m로 관측되어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 상행과 하행의 실제 추월의 궤적에서도 이격거리 값은 조금씩 차이가 있으나, 궤적측면에서 시각적으로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

<표 4-4> 자전거 추월에 따른 이격거리

구분	구간	횡방향 이격거리(m)					
		상행		하행		전체	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
추월전	-100	1.02	0.42	1.13	0.25	1.07	0.35
	-90	1.04	0.41	1.13	0.25	1.08	0.34
	-80	0.99	0.40	1.10	0.28	1.04	0.35
	-70	0.95	0.41	1.12	0.33	1.04	0.38
	-60	0.95	0.40	1.12	0.28	1.04	0.35
	-50	1.03	0.42	1.12	0.28	1.08	0.35
	-40	1.11	0.42	1.21	0.28	1.16	0.36
	-30	1.26	0.38	1.30	0.39	1.28	0.38
	-20	1.40	0.38	1.45	0.39	1.43	0.38
	-10	1.57	0.40	1.57	0.38	1.57	0.39
추월지점	0	1.53	0.41	1.62	0.40	1.58	0.40
추월후	+10	1.51	0.44	1.61	0.39	1.57	0.41
	+20	1.36	0.44	1.53	0.39	1.46	0.42
	+30	1.22	0.43	1.41	0.35	1.33	0.39
	+40	1.11	0.41	1.25	0.35	1.19	0.39
	+50	0.97	0.39	1.17	0.35	1.08	0.38
	+60	0.88	0.34	1.05	0.31	0.98	0.33
	+70	0.78	0.34	0.95	0.34	0.88	0.35
	+80	0.78	0.33	0.86	0.34	0.83	0.34
	+90	0.80	0.34	0.87	0.32	0.84	0.33
	+100	0.85	0.30	0.85	0.31	0.85	0.31

2. 안전 이격거리 추정

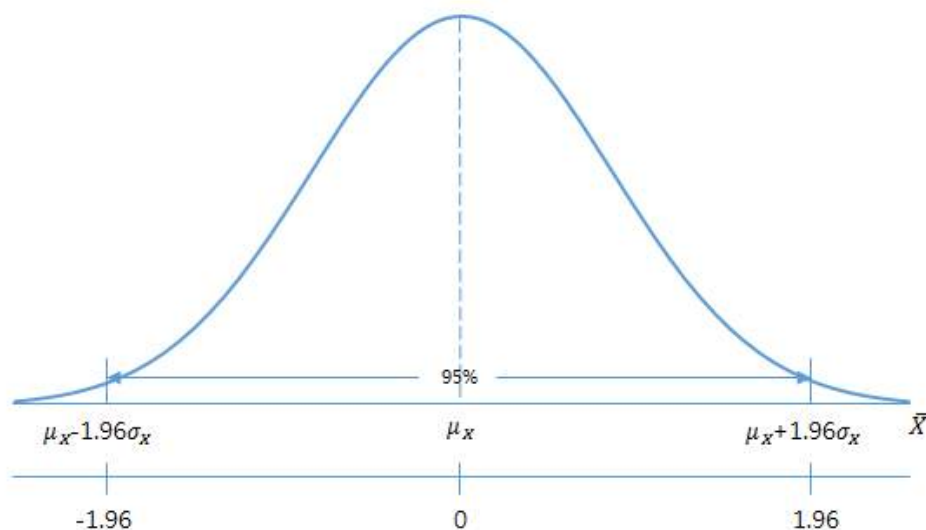
기초자료 분석에서는 추월지점을 0으로 기준을 설정하고, 추월전과 추월후의 이격거리를 분석하였다. 추월지점에서의 평균 이격거리는 1.58m로서, 이는 자동차운전자들이 자전거를 만나면 평균적으로 1.58m를 이격하면서 주행함을 의미한다.

하지만 산출된 이격거리는 현장조사를 통해 산출된 표본평균으로써, 모집단의 평균이라고 말할 수 없다. 따라서 전체 자동차운전자의 이격거

리를 구간추정(Interval Estimate)을 통해 신뢰구간(Interval of Confidence)을 제시할 필요가 있다.

모집단평균 μ 의 구간추정량은 표본평균 \bar{X} 의 표본분포로부터 구해질 수 있다. 만일 표본평균 \bar{X} 가 정규분포를 하고 있고 \bar{X} 의 평균을 $\mu_{\bar{X}}$, \bar{X} 의 표준편차를 $\sigma_{\bar{X}}$ 라 하면 <그림 4-12>와 같이 정규분포의 원리로부터 \bar{X} 값의 95%는 $\mu_{\bar{X}}$ 의 $\pm 1.96\sigma_{\bar{X}}$ 내에 있게 될 것이다. 이를 수학적으로 표현하면 식(4-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(\mu - 1.96\sigma_{\bar{X}} \leq \bar{X} \leq \mu + 1.96\sigma_{\bar{X}}) = 0.95 \quad \text{식(4-1)}$$



<그림 4-12> 정규분포 형태(95% 신뢰수준)

식(4-1)을 μ 에 대한 확률로 나타내면 식(4-2)와 같으며, 이는 구간 $\bar{X} \pm 1.96\sigma_{\bar{X}}$ 에 μ 가 있을 확률이 0.95라는 것이다.

$$P(\bar{X} - 1.96\sigma_{\bar{X}} \leq \mu \leq \bar{X} + 1.96\sigma_{\bar{X}}) = 0.95 \quad \text{식(4-2)}$$

모집단평균 μ 의 구간추정량은 표본평균 \bar{X} 의 표본분포로부터 구해질 수 있다. 만약 모집단표준편차 σ 의 값을 알고 있다면 신뢰구간은 식(4-3)와 같이 구할 수 있다.

$$(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}) \quad \text{식(4-3)}$$

본 연구에서의 자동차의 자전거 이격거리는 현장실험을 통해 수집된 데이터이며, 모집단의 표준편차를 알 수 없기 때문에 σ 를 s/\sqrt{n} 로 추정해야 한다. 표본의 크기 n 이 크면(≥ 30), 표준정규분포에 근사하므로 모집단평균 μ 의 신뢰구간은 식(4-4)와 같이 구할 수 있다.

$$(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad \text{식(4-4)}$$

식(4-4)를 이용하여 자동차의 자전거에 대한 이격거리를 구하고자 한다. 총 141대의 평균 이격거리(μ)는 1.58m이고, 표준편차(s)는 0.4이다. 따라서 자동차가 자전거에 대한 이격거리를 95% 신뢰구간과 99% 신뢰구간으로 추정하면 식(4-5), 식(4-6)과 같다.

$$95\% \text{ 신뢰수준} : (1.58 - 1.96 \frac{0.4}{\sqrt{141}}, \quad 1.58 + 1.96 \frac{0.4}{\sqrt{141}}) \quad \text{식(4-5)}$$

$$99\% \text{ 신뢰수준} : (1.58 - 2.58 \frac{0.4}{\sqrt{141}}, \quad 1.58 + 2.58 \frac{0.4}{\sqrt{141}}) \quad \text{식(4-6)}$$

따라서 95% 신뢰수준에서 자동차의 자전거 이격거리는 1.51m에서 1.65m로 산출되며, 99% 신뢰수준에서는 1.49m에서 1.67m인 것으로 산출되었으며, 이를 정리하면 <표 4-5>와 같다.

<표 4-5> 신뢰수준에 따른 안전 이격거리의 신뢰구간

신뢰수준 (Level of Confidence)	이격거리 하한치(m)	이격거리 상한치(m)
95%	1.51	1.65
99%	1.49	1.67

<표 4-5>는 신뢰수준에 따른 안전 이격거리의 상한치와 하한치를 통계적 추정을 이용하여 구한 값이므로 개략적인 안전 이격거리의 신뢰구간을 파악하는데 이용 가능하다. 자동차의 자전거 이격거리는 자전거의 주행위치에 따라 조금 달라질 수 있는데, 만약 자전거가 길어깨를 이용하여 주행한다면 기존의 국외 사례에서 보여지듯이 1.5m를 안전 이격거리로 볼 수 있다. 실제 스페인 등에서는 자전거가 차도를 주행할 시에 길어깨를 이용하는 것이 법으로 규정되어 있으며, 이런 경우 길어깨주행에 따른 추가 이격거리를 고려하면 1.5m의 적용도 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 자동차의 자전거 추월에 따른 국내 운전자들의 이격거리를 실험을 통해 산출하였다. 산출된 이격거리는 추월지점에서의 평균 이격거리를 통해 신뢰구간 범위에서 적용가능한 안전 이격거리를 제시하였다. 본 실험에 의한 이격거리는 현장에서 조사된 이격거리를 이용하여 제시하였으나, 향후에는 자전거운전자 및 자동차운전자가 느끼는 안전성을 동시에 고려하는 것도 검토 가능할 것으로 판단된다.

제4절 안전 이격거리를 고려한 길어깨 적정폭 분석

1. 길어깨 적정폭 분석방법

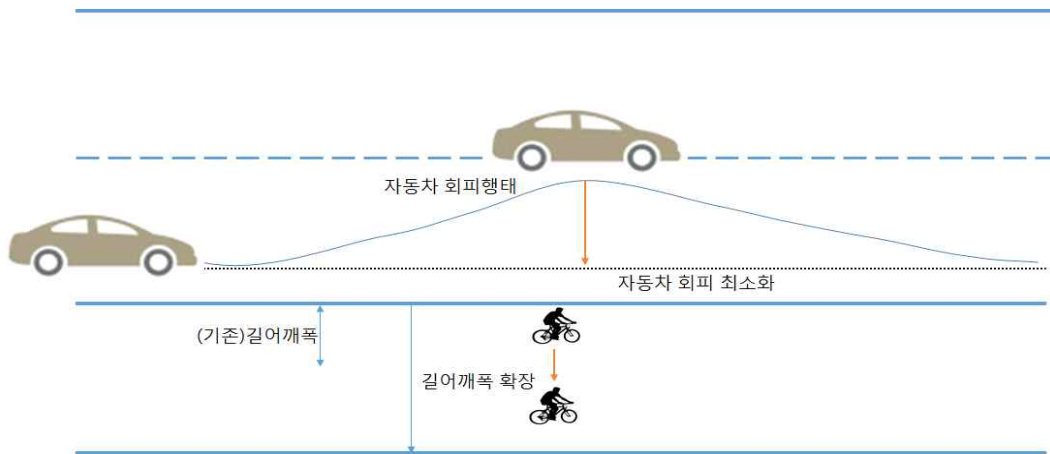
3절에서는 자동차운전자가 차도에서 자전거를 만났을 때 나타나는 회피행태를 실제 현장실험을 통해 산출하였으며, 자동차와 자전거가 동일 선상에 위치하는 지점에서 2개 교통수단간의 평균 이격거리를 제시하였다. 또한 제시된 평균 이격거리는 실험결과에서 산출된 값이므로 실험구간이 아닌 다른 구간에서 적용할 수 있도록 신뢰수준에 따라 안전 이격거리를 제시하였다.

3절에서 제시한 안전 이격거리는 실험구간의 길어깨폭(1.0m)인 기하구조 조건에서, 자전거는 주행할 수 있는 공간적 범위가 제한된 상태에서 자동차가 회피하는 데 필요한 거리이다. 앞에서도 언급하였듯이 왕복4차로 도로에서는 자동차가 자전거를 회피하기 위해 1차로로 차로변경을 하면 되지만, 왕복2차로에서는 대향차로의 자동차가 존재할 경우 불가능하다. 또한 승용자동차의 폭은 1.7m로서 <표 4-5>에서 제시한 최대 이격거리인 1.73m를 적용한다고 할 때, 3.43m가 되어 3.5m의 차로폭을 가진 도로에서는 이론적으로는 중앙선을 침범하지 않는다.

하지만 도로설계에서 기준이 되는 설계기준자동차(세미트레일러)는 차폭이 2.5m로서, 최대 이격거리를 확보하게 되면 4.23m가 되어 3.5m의 차로폭일지라도 중앙선을 0.73m 침범하게 된다. 이러한 점이 중요한 이유는 세미트레일러 등의 자동차는 주행시에 자전거를 발견할지라도 대향차로에 차량이 있는 경우, 자전거와의 이격거리를 최소화할 가능성이 크다는 것이다. 즉, 대형차량의 운전자는 자동차와 자전거의 안전 이격거리를 법제화하여 적용한다고 하더라도 대향차로의 자동차에 대한 부담으로 인해 자전거와의 이격거리를 줄이는 것을 선택할 수 있다¹⁸⁾.

18) 미국이나 유럽에서도 법으로 자동차와 자전거의 이격거리를 규정하고 있으나, 자동차운전자들의 위반이 종종 발생하고 있음. 이에 이격거리 유지에 대한 지속적인 단속과 캠페인을 병행하고 있음.

따라서 본 절에서는 자동차의 회피행태를 최소화할 수 있는 길어깨 적정폭을 제시하고자 한다. 공간적 범위는 왕복 2차로이며, 분석의 최종목적은 3절에서 제시된 회피행태가 나타나지 않을 수 있는 적정 길어깨폭을 결정하는 것이다. 본 절의 최종 목적을 도식화하면 <그림 4-13>과 같다.



<그림 4-13> 길어깨 적정폭 산정 개념

적정 길어깨폭의 산정방법은 자동차가 자전거를 회피할때의 이격거리를 가능한 0으로 만들 수 있는 길어깨폭을 구하는 것이다. 이를 위해 먼저 자동차가 자전거를 동일선상에서 만났을 때의 이격거리와, 자동차가 자전거의 영향을 받지 않는 상태에서의 이격거리를 산출하였다. 이때 자동차가 자전거의 영향을 받지 않는 상태는 현장조사 데이터에서 자전거 영향권을 설정하여 영향권에 해당하지 않는 데이터를 수집하여 적용하였다¹⁹⁾.

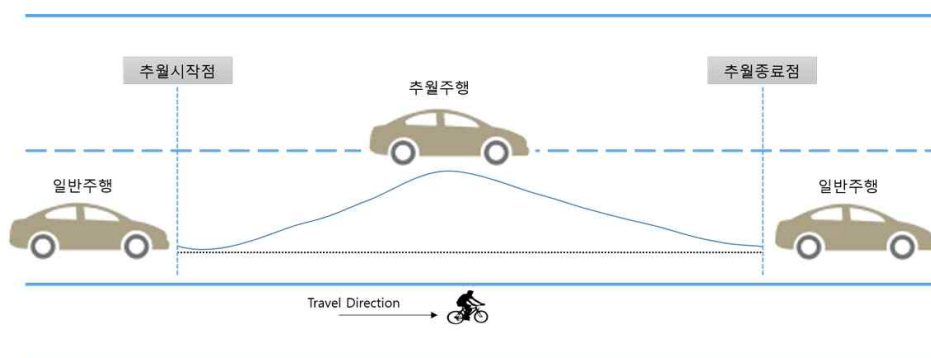
또한 자전거운전자는 길어깨폭이 확장되더라도 길어깨폭의 중앙으로 주행하는 것을 고려하여 자동차의 회피행태를 최소화할 수 있는 최종적인 길어깨 적정폭을 산출하였다.

19) 차로를 주행하는 자동차운전자는 주행패턴이 각각 상이하므로, 자전거 이격거리 산출에 포함된 자동차운전자의 데이터를 사용하여 비교함.

2. 자전거 인지 영향권 설정 및 이격거리 추정

차로에서 자전거를 인지한 자동차운전자는 조금씩 중앙선 방향으로 핸들을 조작하여 횡방향 이격거리를 증가시키며, 자전거의 추월이 완료되었다고 판단되면 다시 길어깨 방향으로 핸들을 조작하여 본인이 적절하다고 판단되는 차로 내 주행위치로 복귀하게 된다. 이러한 자동차의 행태에서 자전거의 영향을 받지 않는 상태에서의 이격거리는 자전거에 의한 핸들조작이 없는 상태, 즉 자동차운전자가 핸들을 조작하기 이전의 이격거리와 적정차로 내 주행위치로 복귀한 이후의 이격거리라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 길어깨 적정폭을 산출하기 위해 앞서 자동차가 자전거에 의해 영향을 받았는지에 대한 유무를 이용하여 영향을 받지 않았을 때의 이격거리와 영향을 받았을 때의 이격거리를 자동차의 회피행태 데이터를 이용하여 구해보고자 한다. 자동차가 자전거를 인지하고 핸들을 조작하면서 횡방향 이격거리가 증가하기 시작하는 지점을 추월시작점이라고 정의한다. 또한 자동차가 자전거를 추월한 이후에 횡방향 이격거리의 감소추세가 멈추는 지점을 추월종료점이라고 정의한다. 또한 추월시작점 이전과 추월종료점 이후는 자동차가 자전거에 대한 영향이 없는 주행구간이므로 일반주행으로 정의하고, 추월시작점과 추월종료점 사이를 자동차가 자전거에 의해 영향을 받은 주행구간이므로 추월주행이라고 정의한다. 이를 그림으로 도식화하면 <그림 4-14>와 같다.



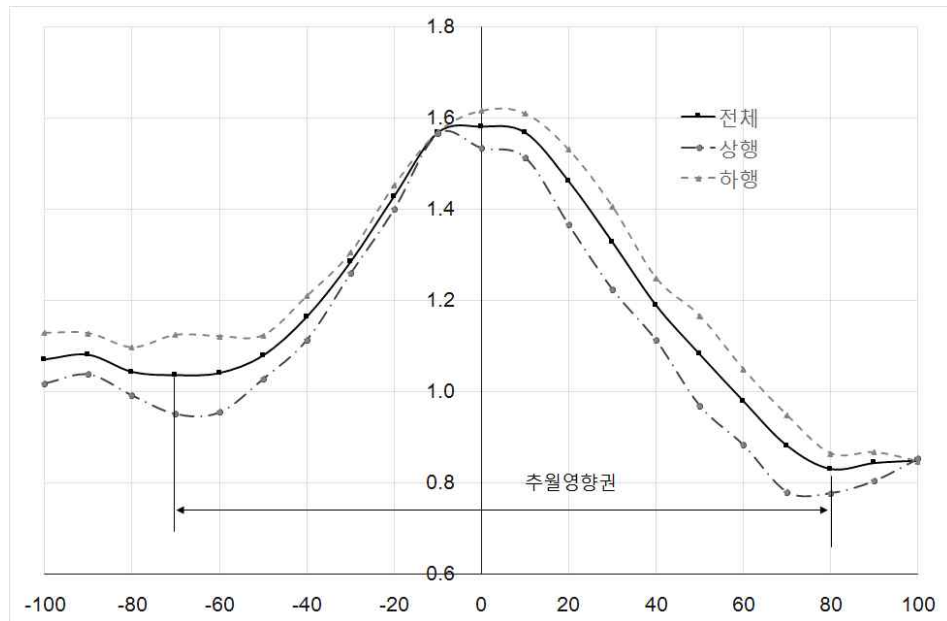
<그림 4-14> 추월시작점과 추월종료점의 개념

추월시작점과 추월종료점을 구하기 위해 조사지점별 횡방향 이격거리의 변화량(기울기)을 <표 4-6>과 같이 산출하였다.

<표 4-6> 지점별 횡방향 이격거리 변화량

구분	구간	변화량(기울기)	증감
추월전	-100 ~ -90	0.001	0.009
	-90 ~ -80	-0.004	-0.005
	-80 ~ -70	-0.001	0.003
	-70 ~ -60	0.000	0.001
	-60 ~ -50	0.004	0.003
	-50 ~ -40	0.008	0.005
	-40 ~ -30	0.012	0.004
	-30 ~ -20	0.014	0.002
	-20 ~ -10	0.014	0.000
	-10 ~ 0	0.001	-0.013
추월후	0 ~ 10	-0.001	-0.003
	10 ~ 20	-0.011	-0.009
	20 ~ 30	-0.013	-0.003
	30 ~ 40	-0.014	-0.001
	40 ~ 50	-0.011	0.003
	50 ~ 60	-0.010	0.000
	60 ~ 70	-0.010	0.000
	70 ~ 80	-0.005	0.005
	80 ~ 90	0.001	0.006
	90 ~ 100	0.001	-0.001

<표 4-6>에서 추월전은 -70m에서 조금씩 이격거리가 증가하고 있으며, 추월 후 80m에서 이격거리의 감소추세가 멈추고 있다. 따라서 추월 시작점을 -70m로 선정하고, 추월종료점을 +80m로 선정하였다. 영향권을 그래프로 표시하면 <그림 4-15>와 같다.



<그림 4-15> 추월 영향권 구간 선정

자전거 인지에 대한 영향권 설정을 통해 일반주행과 추월주행의 데이터를 구분하였다. <그림 4-15>에서 설명한 바와 같이 회피행태를 최소화하는 적정 길어깨폭을 구하기 위해서는 일반주행과 추월주행에서의 횡방향 평균 이격거리를 산출해야 한다. 추월주행은 제3절에서 산출된 동일선상에서의 평균 이격거리를 적용하면 되나, 일반주행은 앞에서 제시한 영향권 개념을 적용하여 산출한다.

일반주행에 대한 횡방향 평균 이격거리는 영향권 설정범위에 의해 실험구간의 시작과 끝 부분의 데이터가 많고 가운데 부분은 다소 적다. 자동차의 일반주행에 따른 실험구간 지점별 횡방향 이격거리는 <표 4-7>과 같다.

<표 4-7> 일반주행의 지점별 횡방향 이격거리

구분		횡방향 이격거리(m)															
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
상행	샘플	127	117	103	86	68	45	30	15	0	5	22	44	64	78	90	103
	평균	0.85	0.86	0.92	0.95	0.97	0.98	0.98	1.03	0.00	0.46	0.75	0.75	0.75	0.77	0.77	0.75
	표준편차	0.33	0.34	0.34	0.37	0.38	0.40	0.42	0.30	0.00	0.05	0.40	0.34	0.35	0.37	0.38	0.37
하행	샘플	118	114	93	73	56	45	28	17	3	9	25	49	70	100	115	128
	평균	1.02	1.02	1.04	1.03	1.06	1.08	1.16	1.13	0.87	0.87	0.71	0.71	0.70	0.77	0.83	0.85
	표준편차	0.38	0.38	0.38	0.40	0.39	0.38	0.35	0.34	0.21	0.31	0.28	0.30	0.30	0.32	0.33	0.34
전체	샘플	245	231	196	159	124	90	58	32	3	14	47	93	134	178	205	231
	평균	0.93	0.94	0.98	0.99	1.01	1.03	1.07	1.08	0.43	0.66	0.73	0.73	0.73	0.77	0.80	0.80
	표준편차	0.36	0.36	0.36	0.39	0.39	0.39	0.39	0.32	0.10	0.18	0.34	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36

본 연구에서는 실험구간 150m를 10m 단위로 조사된 데이터를 이용하여 지점별 이격거리를 산출하고 있다. 실험대상구간은 앞서도 언급하였듯이 거의 직선으로 이루어진 구간이나, 실험구간의 각 지점별 이격거리는 곡선반지를 등 도로의 기하구조에 영향을 받을 수 있다. 따라서 각 지점별 이격거리를 분석하기 이전에 지점별 기하구조의 특성에 따른 영향여부를 판단하기 위해 각 지점별 이격거리 분포의 등분산성을 검정하였다. 등분산성이란 각 집단의 데이터가 분산의 동질성을 가지는지에 대한 판단을 의미한다. 등분산성을 판단하기 위해 통계적 검정은 Levene Test²⁰⁾를 사용하였다.

- H_0 : 모든 집단의 분산이 동일하다($\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n$)
- H_1 : 적어도 한 집단의 분산이 다르다($\sigma_i \neq \sigma_j$)

20) Levene and Howard(1960)

$$W = \frac{(N-k)}{(k-1)} \frac{\sum_{i=1}^k N_i (Z_{i.} - Z_{..})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (Z_{ij} - Z_{i.})^2}$$

여기서, W : 통계량

k : 샘플의 그룹 개수

N : 그룹 내 샘플 개수

N_i : i 번째 그룹의 샘플 수

Z_{ij} : i 번째 그룹의 평균 또는 중앙값에 의한 연산값

$Z_{..}$: Z_{ij} 전체의 평균

$Z_{i.}$: i 번째 그룹에 대한 Z_{ij} 의 평균

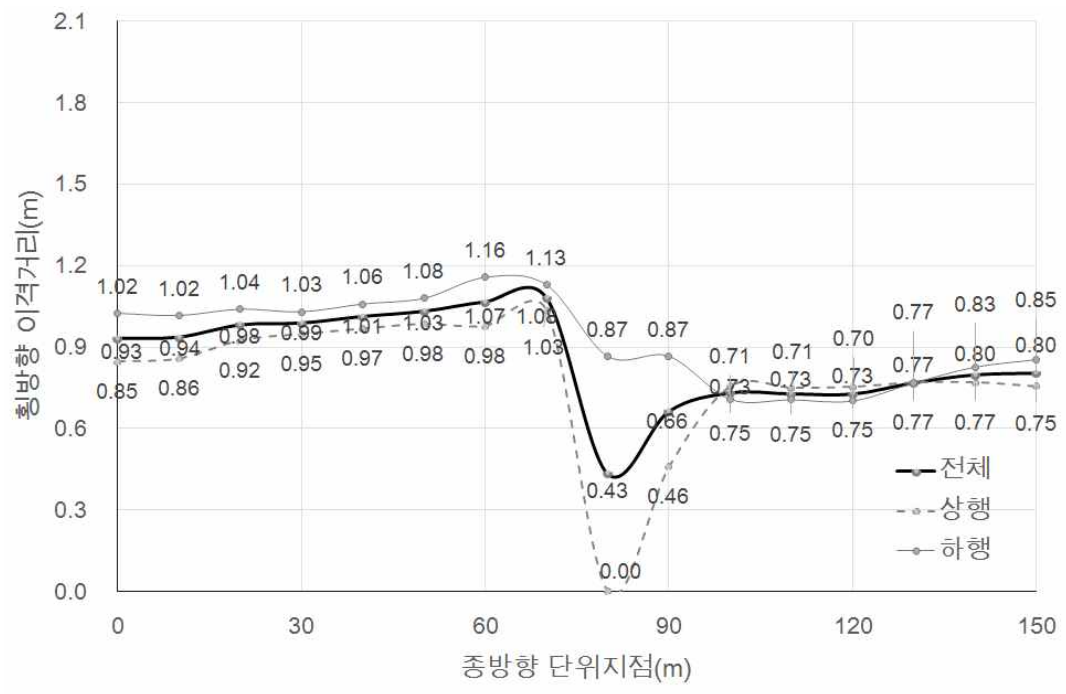
집단간의 등분산성에 대한 Levene Test 결과는 다음과 같다.

<표 4-8> Levene 통계검정

구분	Levene 통계량	df1	df2	유의확률
일반 주행	0.753	6	2033	0.607
추월 주행	1.690	6	134	0.128

* $df1 = k - 1$, $df2 = N - k$

등분산성의 검정 결과 일반주행과 추월주행의 유의확률이 유의수준 (p-value)수준 0.05보다 크므로 귀무가설을 기각할 수 없음. 따라서 1종 오류의 확률이 적은 것으로 판단하여 모든 집단의 분산정도는 동일한 것으로 가정하였다. 각 지점별로 일반주행에 따른 횡방향 이격거리를 분석하면 <그림 4-16>과 같이 제시된다.



<그림 4-16> 일반주행 지점별 변화추이

3. 안전 이격거리를 고려한 적정 길어깨폭 추정

자동차운전자가 자전거를 추월할 때 회피행태를 최소화할 수 있는 방법은 이론적으로는 자동차의 회피를 위한 이격거리만큼 길어깨폭이 넓어지면 가능하다. 길가장자리 구역선을 기준으로 자동차의 회피를 위한 최대 이격거리를 d_s (회피행태 이격거리)라고 하고 자동차가 자전거의 영향을 받지 않고 주행하는 이격거리를 d_s^0 (일반행태 이격거리)라고 정의한다. 즉, 회피행태 이격거리는 자전거를 추월하는 자동차가 동일선상에서 자전거와의 최대 이격거리이며, 일반행태 이격거리는 자전거가 없을 때 자동차가 길가장자리까지의 이격거리라고 말할 수 있다. 본 연구에서 구하고자 하는 적정 길어깨폭을 W_s^0 라고 할 때, (식 4-7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_s^0 = d_s - d_s^0 \quad \text{식(4-7)}$$

자전거이용자가 안전한 주행을 하기 위해서는 (식 4-7)에서 산출된 값에 자전거가 주행에 필요한 최소 넓이인 자전거폭과 측면의 여유폭 개념인 측방여유폭이 필요하다. 따라서 자전거의 폭을 W_b 라고 하고, 자전거의 측방여유폭을 W_l 이라고 하면 식(4-8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_s^0 = (d_s - d_s^0) + W_b + W_l \quad \text{식(4-8)}$$

식(4-8)은 자전거운전자가 본 연구에서 제시한 확장된 길어깨폭 만큼을 실제로 이격하고 주행한다고 가정된 값이다. 하지만 실제로 대부분의 자전거운전자는 길어깨구간이 확폭되었을지라도, 이격거리를 유지하기보다는 길어깨구간의 중앙을 주행하게 되므로 실제 길어깨 적정폭은 식(4-8)에서 식(4-9)와 같이 나타낼 수 있다.

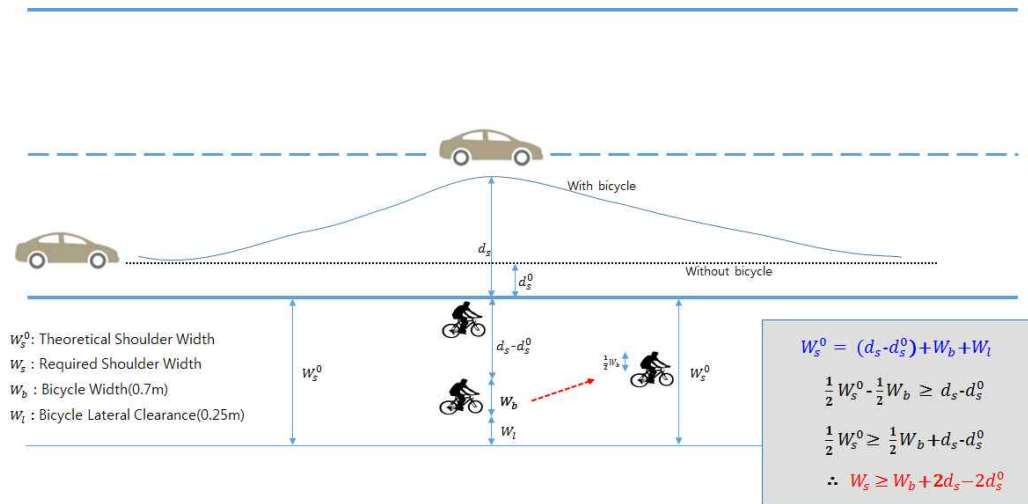
$$\frac{1}{2} W_s^0 - \frac{1}{2} W_b \geq d_s - d_s^0 \quad \text{식(4-9)}$$

$$\text{전개하면, } \frac{1}{2} W_s^0 \geq \frac{1}{2} W_b + d_s - d_s^0$$

따라서, 자동차가 자전거에 의한 회피행태를 보이지 않고 안전하게 주행할 수 있는 최소 길어깨폭은 식(4-10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_s \geq W_b + 2d_s - 2d_s^0 \quad \text{식(4-10)}$$

제시된 최소 길어깨폭을 그림으로 도식화하면 <그림 4-17>과 같다.



<그림 4-17> 안전을 고려한 최소 길어깨폭 산정식

식(4-10)을 이용하여 최소 길어깨폭을 구하면 식(4-11)과 같다.

$$W_s \geq 0.7 + 2d_s - 2d_s^0 \quad \text{식(4-11)}$$

<표 4-9> 안전을 고려한 최소 길어깨폭(단위 : m)

최소 길어깨폭(W_s)	자전거 폭(W_b)	회피행태 이격거리(d_s)	일반행태 이격거리(d_s^0)
2.08	0.7	1.58	0.89

<표 4-9>에서 제시된 최소 길어깨폭은 2.08m이며, 이 값이 의미하는 것은 2.08m의 길어깨가 확보된다면 자동차가 자전거를 추월할 때의 회피행태를 최소화하면서 주행할 수 있다는 것이다. 길어깨 폭에 따른 자전거의 주행위치의 변화와 자동차의 주행속도 등 자전거와 자동차운전자의 운전행태에 따라 <표 4-9>에서 제시된 값은 바뀔 수 있다. 만약 <표 4-9>에서 제시된 최소 길어깨폭을 실제 현장에 적용할 경우에는 길어깨

폭을 2m를 적용하는 것이 바람직하다. 앞 절에서 제시된 안전 이격거리의 신뢰수준에 따른 신뢰구간은 95%와 99%에서 각각 1.65m와 1.67m로 제시되었으며, 각 신뢰구간에 따라 적정 길어깨폭은 다르게 적용될 수 있다.

또한 본 연구는 도로구간의 형태가 본선구간은 직선으로 이루어져 있고, 시종점구간은 회전반경이 비교적 큰 곡선으로 이루어져 있다. 각 실험구간에 대해 등분산성을 검정한 결과 직선과 곡선에 따른 분산의 정도가 동일한 것으로 나타났으므로 본 연구에서 제시된 안전을 고려한 최소 길어깨폭은 곡선반경이 작은 도로를 제외하고는 적용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 안전을 고려한 최소 길어깨폭은 향후 자전거의 교통량이 많은 왕복2차로 구간에서 적용이 가능하다. 만약 기존의 길어깨폭이 1.0m 또는 1.5m일 때, 별도의 자전거도로를 건설하기 위해서는 자전거도로폭(1.2m~1.5m)과 측구(0.5m)를 확보해야 하고 보행자를 위한 추가적인 시설이 필요하다. 그러나 지방부의 왕복2차로 도로는 자전거의 수요가 독립적인 시설을 필요로 할 만큼 충분하지는 않는 경우가 많다. 그에 반면 계절과 시간에 따라 생활형 자전거와 레저형 자전거의 수요가 지속적으로 발생하므로, 기존의 길어깨를 확폭하여 자전거 및 자동차의 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

제5절 소결

본 장에서는 차도에서 자전거의 주행시에 자동차의 회피행태에 대해 분석하였다. 회피행태 분석의 목적은 2가지인데, 첫째는 왕복2차로 도로에서 자전거를 추월하는 자동차의 이격거리를 분석하고, 이를 통해 자동차와 자전거의 안전 이격거리를 제시하는 것이다. 둘째는 자전거운전자의 적극적인 안전성향상을 위해, 자동차가 자전거를 회피하지 않고 주행할 수 있는 길어깨폭을 산출하는 것이다.

먼저 안전 이격거리의 분석을 위해 실제 도로구간에서 자동차가 자전거를 만났을 때의 회피행태를 관측하였다. 관측된 데이터는 추월지점을 0으로 기준을 설정하고, 추월전과 추월후의 이격거리를 분석하였으며, 추월지점에서의 평균 이격거리는 1.58m로서, 이는 자동차운전자들이 자전거를 만나면 평균적으로 1.58m를 이격하면서 주행함을 의미한다. 하지만 산출된 이격거리는 현장조사를 통해 산출된 표본평균으로써, 모집단의 평균이라고 말할 수 없으므로 신뢰수준별로 안전 이격거리를 분석하였다. 그 결과 95% 신뢰수준에서 자동차의 자전거 이격거리는 1.51m에서 1.65m로 산출되며, 99% 신뢰수준에서는 1.49m에서 1.67m인 것으로 산출되었다. 본 실험에 의한 이격거리는 현장에서 조사된 이격거리를 이용하여 제시하였으나, 향후에는 자전거운전자 및 자동차운전자가 느끼는 안전성을 동시에 고려하는 것도 검토 가능할 것으로 판단된다.

두 번째로 자동차의 회피행태를 최소화할 수 있는 길어깨 적정폭을 제시하였다. 공간적 범위는 왕복 2차로이며, 분석의 최종목적은 앞에서 제시된 회피행태가 나타나지 않을 수 있는 적정 길어깨폭을 결정하는 것이다. 적정 길어깨폭의 산정방법은 자동차가 자전거를 회피할때의 이격거리를 가능한 0으로 만들 수 있는 길어깨폭을 구하는 것이므로, 이를 위해 먼저 자동차가 자전거를 동일선상에서 만났을 때의 이격거리와, 자동차가 자전거의 영향을 받지 않는 상태에서의 이격거리를 산출하였다. 또한 자전거운전자는 길어깨폭이 확장되더라도 길어깨폭의 중앙으로 주행

하는 것을 고려하여 자동차의 회피행태를 최소화할 수 있는 최종적인 길 어깨 적정폭을 구하는 식을 제시하였다. 그 결과 제시된 최소 길어깨폭은 2.08m이며, 이 값은 2.08m의 길어깨가 확보된다면 자동차가 자전거를 추월할 때의 회피행태를 최소화하면서 주행할 수 있다는 것을 의미한다. 실험대상구간의 도로형태가 직선과 곡선으로 이루어져 있고, 각 실험구간에 대해 등분산성을 검정한 결과 직선과 곡선에 따른 분산의 정도가 동일한 것으로 나타났으므로 본 연구에서 제시된 안전 이격거리와 최소 길어깨폭은 모든 도로에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

제5장 결론 및 향후연구

제1절 결론

2000년대에 여러 가지 이유로 대두되었던 녹색교통이라는 키워드가 아니더라도 자전거교통에 대한 수요는 나날이 증가하고 있다. 기존의 자전거는 학생과 일부 동호회에서만 이용하는 것으로 인식되었으나, 최근에 레저형 자전거는 급격히 증가하고 있으며 점차 생활형 교통수단으로도 활용되고 있다. 자전거 교통수단의 수요 및 관련 교통사고에 비해 자전거 교통류에 대한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있다. 이는 아직까지 자전거가 교통수단으로 인지되지 못하고 있으며, 선행연구의 부족으로 인해 데이터의 수집 및 분석이 제대로 이루어지지 못하고 있기 때문이다.

본 연구에서는 국내 자전거교통류의 특성을 분석하기 위해 자전거통행의 공간적 범위를 중심으로 분석대상을 설정하였다. 먼저 연속류 자전거도로에서 교통류분석의 기초가 되는 차두시간 분포모형의 방법론 정립 및 모형을 개발하였으며, 자전거도로의 용량분석 방법론 및 실제 용량을 산출하였다. 또한 차도에서 자동차와 자전거의 안전 이격거리를 실제 실험을 통해 제시하였으며, 자전거에 의한 자동차의 회피행태를 최소화할 수 있는 길어깨폭을 제시하였다. 본 연구의 결론 및 시사점을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 선행연구가 없었던 연속 자전거교통류의 차두시간 분포모형을 현장데이터를 이용하여 개발하였다. 결과적으로 음지수분포와 전이된 음지수분포가 적합한 것으로 나타났으며, 통계치를 비교하였을 때 전이된 음지수분포가 더욱 적합도가 높은 것으로 판단되었다.

둘째, 자전거도로의 용량을 산출하기 위해 혼잡상태를 모사할 수 있는 자전거 교통류군을 이용하였으며, 각 교통류군의 평균 차두시간은 교통류군을 대표한다고 가정하였다. 그 결과 전체 자전거 교통류군의 평균 차두시간은 1.01초로서, 자전거도로의 용량은 약 3,600대/시가 되는 것으

로 제시하였다.

셋째, 안전 이격거리의 분석을 위해 실제 도로구간에서 자동차가 자전거를 만났을 때의 회피행태를 관측하였다. 추월전과 추월후의 이격거리를 분석하였으며, 추월지점에서의 평균 이격거리는 1.58m로 측정되었다. 안전 이격거리는 신뢰수준을 고려하여 95% 신뢰수준에서 자동차의 자전거 이격거리는 1.51m에서 1.65m로 산출되며, 99% 신뢰수준에서는 1.49m에서 1.67m인 것으로 제시하였다.

마지막으로 자동차의 회피행태를 최소화할 수 있는 길어깨 적정폭을 제시기 위해 자동차가 자전거를 동일선상에서 만났을 때의 이격거리와 자동차가 자전거의 영향을 받지 않는 상태에서의 이격거리를 산출하였다. 그 결과 제시된 최소 길어깨폭은 2.08m이며, 이 값은 2.08m의 길어깨가 확보된다면 자동차가 자전거를 추월할 때의 회피행태를 최소화하면서 주행할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 실험대상구간의 도로형태가 직선과 곡선으로 이루어져 있고, 각 실험구간에 대해 등분산성을 검정한 결과 직선과 곡선에 따른 분산의 정도가 동일한 것으로 나타났으므로 본 연구에서 제시된 안전 이격거리와 최소 길어깨폭은 모든 도로에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

제2절 적용방안 및 향후연구

본 연구는 자전거교통류에 대해 종적 주행과 횡정 주행으로 구분하여 안전성을 분석하였다. 국내 자전거도로는 자전거이용자의 증가에 따라 지속적으로 확대되고 있으나 실제 자전거교통류의 안전성에 대한 연구는 거의 없는 실정이며, 대부분의 자전거도로 설치에 이러한 교통류분석이 이루어지지 못하고 정책적으로만 결정되고 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 자전거도로의 차두시간 분포모형과 용량은 향후 자전거도로를 설계하고 계획하는 단계에서 기초적인 분석방법론을 제공할 수 있다. 또한

차도에서 자동차와 자전거의 회피행태 분석에 따른 자전거 회피거리와 최소 길어깨폭은 실제 차도의 자전거 및 자동차운전자의 안전성을 확보할 수 있는 중요한 자료로 이용이 가능하다. 종합하면 본 연구에서 개발한 연속류 자전거교통류의 차두시간 분포모형과 교통용량, 자동차와의 안전이격거리 및 최소길어깨폭 등은 자전거도로의 계획과 설계에서 적용이 가능하다. 또한 기존 자전거도로 및 자전거통행이 많은 자동차도로의 기하구조 개선에도 반영이 가능할 것으로 판단된다. 정책적으로는 자전거도로의 안전성 향상을 위한 다양한 정책(예: 도로 및 교통안전시설 설치, 추월차로 설치, 길어깨 확폭 등) 결정시 의사결정 지원수단으로 활용도 가능할 것으로 판단된다. 자전거교통류의 안전성 증진을 위한 다양한 연구에도 기초자료로 활용이 가능하다. 예를 들어 자전거교통류의 시뮬레이션 분석에서 차두시간 분포모형과 도로용량, 회피거리 등이 중요한 변수로 입력이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구결과의 고도화를 위한 향후 연구로는 첫째, 자전거도로 폭의 다양한 적용이 필요하다. 차두시간 분포모형과 도로용량 분석을 위해 본 연구에서는 국내 자전거도로의 기준폭인 1.5m를 기준으로 데이터를 수집하고 분석하였다. 자전거도로의 폭이 1.5m보다 좁거나 넓은 구간에 대해 데이터를 수집하고 분석한다면 더욱 다양한 결과가 제시될 것이다. 선행연구 고찰에서의 Botma(1995)와 Navin(1994)의 연구에서도 자전거도로의 폭이 2m 이상이 되면 도로용량이 각각 6,400대/시와 10,000대/시가 제시된 바 있다. 둘째, 도시부의 자전거전용도로와 자전거보행자겸용도로, 자전거전용차로 등 다양한 자전거도로 형태의 적용이 필요하다. 본 연구에서는 강변의 자전거전용도로를 기준으로 차두시간 분포모형과 용량을 분석하였다. 도시부의 자전거전용도로와 자전거보행자겸용도로 등은 자전거교통류의 특성이 상이하므로 동일한 방법론에 따라 연구가 이루어진다면 본 연구의 결과와 비교분석이 가능할 것이다. 셋째, 다양한 기하구조 조건상에서 회피행태 분석연구가 필요하다. 본 연구에서는 회전반경이 큰 곡선이 일부 포함된 직선구간에서 현장실험과 데이터수집

및 분석이 수행되었으나, 회전반경과 종단경사에 따른 실험 및 분석이 이루어진다면 기하구조에 따른 적정 이격거리와 길어깨 적정폭이 제시될 수 있을 것이다. 넷째, 자동차와 자전거의 접촉부분에 대한 교통류 분석이 필요하다. 차도에서는 평면과 입체의 형태로 끊임없이 자동차의 합류와 분류가 이루어지며, 자전거는 이러한 합류부와 분류부에서 자동차와 필수적으로 상충이 이루어지게 된다. 따라서 차도의 합류부와 분류부에서의 자동차와 자전거에 대한 교통류 분석을 통해 자전거이용자의 안전성을 제시하는 연구가 필요하다. 다섯째, 신호 또는 비신호교차로가 존재하는 단속류에서의 자전거교통류 분석이 필요하다. 본 연구에서는 강변의 자전거도로와 연속적인 차도에서의 자전거 및 자전거/자동차의 교통류분석을 시행하였다. 하지만 도시부에는 대부분 연속류보다는 신호와 비신호로 이루어진 교차로가 대부분이며, 많은 교통사고가 이러한 교차로에서 발생하므로 교차로 형태에 따른 자전거 또는 자전거와 자동차의 교통류 분석이 필요하다. 마지막으로 자전거교통류의 서비스수준 분석이 필요하다. 차두시간 분포모형과 용량분석 결과를 이용하여 적정 서비스수준의 분류 및 각 서비스수준별 임계값을 제시하여 현재 및 미래 자전거도로의 기하구조 규모의 결정 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[국내]

- 경찰청(2015), “2015 교통사고 통계”
- 국토해양부(2009), “4대강 살리기 마스터플랜”
- 국토해양부(2010), “국도상 자전거도로 구축(생활권역) 계획 연구”
- 국토해양부(2012), “도로용량편람 개정 및 보완연구(3차년도) 최종보고서”
- 국토해양부(2012), “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(해설)”
- 김점산·박창호(2006), “차두시간분포 분석을 통한 고속도로 설계용량 산정모형의 개발”, 대한토목학회논문집, D.26(2D), pp. 251~258.
- 노부호·민재형·이균희(1998), “통계학의 이해”, 법문사.
- 도철웅(2004), “교통공학원론(상)”, 청문각.
- 문재필·김동녕(2014), “지방부 2차로도로의 차두시간 분포 모델에 관한 연구”, 한국도로학회 논문집, 제16권 제1호, pp. 49~56.
- 손영태·김정현·오영태·김홍상·박우신(2002), “자전거 교통류의 기본 특성에 관한 실험 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제14호, pp. 19~26.
- 안균섭(2015), “자전거 타기가 여가만족, 직무만족 및 생활만족에 미치는 영향”, 목포대학교 체육교육전공 학위논문
- 이재웅(2014), “서울시 무인 공공자전거 대여기의 사용편의성에 따른 디자인 요소에 관한 연구”, 국민대학교 시스템디자인전공 학위논문
- 행정안전부(2010), “국가 자전거도로 기본계획”
- 행정안전부·국토해양부(2010), “자전거이용시설의 설치 및 관리지침”

[국외]

- Akcelik, R., and Chung, E.(1994), “Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways”, Road and Transport Research,

3(1), 42-59.

- Alfredo Garcia, Antonio Angel Domenech, Carlos Llorca, Fernando Agustin Gomez and Vicente Ferrer(2015), “Effects of Road Geometry on the Interaction between Cyclists and Vehicles on Two Lane Rural Highways”, International Symposium on Highway Geometric Design.

- Al-Ghamdi, A. S.(2001), “Analysis of time headways on urban roads: case study from Riyadh”, Journal of Transportation Engineering, 127(4), 289-294.

- Botma, H.(1995), “Method to determine level of service for bicycle paths and pedestrian-bicycle paths”, Transportation Research Record, (1502), 38-44.

- Daniel, Gerlough and Matthew(1975), Traffic Flow Theory, Special Report 165, Transportation Research Board.

- Ferrara, T. C.(1975), “A Study of Two-Lane Intersections and Crossings Under Combined Motor Vehicle and Bicycle Demands”, Report 75-5. Civil Engineering Department.

- Griffiths, J. D., and Hunt, J. G.(1991), “Vehicle headways in urban areas. Traffic engineering and control”, 32(10), 458-462.

- Harkey, D., and Stewart, J.(1997), “Evaluation of shared-use facilities for bicycles and motor vehicles”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1578), 111-118.

- Homburger, W. S.(1976), “Capacity of Bus Routes, and of Pedestrian and Bicycle Facilities”, Institute of Transportation Studies.

- Khasnabis, S., and Heimbach, C. L.(1980), “Headway-distribution models for two-lane rural highways”, Transportation research record, 772, 44-51.

- Levene and Howard(1960), "Robust tests for equality of variances". In Ingram Olkin; Harold Hotelling; et al. Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling. Stanford University Press. pp. 278 - 292.
- Liu, X., Shen, L. D., and Ren, F.(1993), "Operational analysis of bicycle interchanges in Beijing", China (No. 1396).
- Luttinen, R.(1999) "Properties of Cowan's M3 headway distribution", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1678), 189-196.
- May, A., D.(1990), Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall, Inc.
- Minh, C. C., Sano, K., and Matsumoto, S.(2005), "The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 1496-1508.
- Navin, F. P.(1994), "Bicycle traffic flow characteristics: experimental results and comparisons", ITE journal, 64(3), 31-37.
- Ovuworie, G. C., Darzentas, J., and Mcdowell, M. R. C.(1980), "Free movers, followers and others: a reconsideration of headway distribution", Traffic Engineering & Control, 21(HS-030 711).
- Raksuntorn, W., and Khan, S.(2003), "Saturation flow rate, start-up lost time, and capacity for bicycles at signalized intersections", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1852), 105-113.
- Stembord, H.(1991), "Capacity Research and Applications: Country Report of the Netherlands", International Symposium on Highway Capacity.
- Vagverk, S.(1977), "Swedish Capacity Manual", National Swedish Road Administration.
- Yin, S., Li, Z., Zhang, Y., Yao, D., Su, Y., and Li, L.(2009), "

Headway distribution modeling with regard to traffic status”, In Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE (pp. 1057–1062). IEEE.

- Zhang, G., Wang, Y., Wei, H., and Chen, Y.(2007), “Examining headway distribution models with urban freeway loop event data”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.

- Zhibin Li, Zheng Li, Rong Huang, Zhao Yang, Wenzhu Zhon and Mao Ye(2014), “Operational Features in Bicycle Traffic Flow : An Observational Study”, Transportation Research Board 93th Annual Meeting, Washington, DC, USA.

부록 1 : 자전거도로 용량분석 R코드

제3장에서 제시한 종적주행 안전성 분석에서 자전거도로의 용량을 제시하였으며, 이를 위해 현장조사를 통해 자전거이용자간의 차두시간을 촬영을 통해 조사하고 분석 및 그래프를 제시하였다. 이러한 모든 작업은 R 프로그램을 통해 데이터의 수집 및 분석, 그래프 작성이 이루어졌으며, 향후 반복적인 작업의 용이성을 위해 아래와 같이 R코드를 제시하고자 한다.

```
# Working directory setting
getwd()
setwd( "c:/Users/ywint/Documents/Pgm_R/Bicycles/capacity" ) # office PC

# Read data
data_a <- read.csv( "data/Anyang_sample_mean.csv" )
data_m <- read.csv( "data/Mangwon_sample_mean.csv" )
data_t <- read.csv( "data/Total_sample_mean.csv" )

x <- seq( -4, 4, length = 100 )
hist( data_a$th,
      density=20,
      breaks= c(0.2*0:15),
      prob=TRUE,
      xlab="time headway (sec)",
      ylim=c(0, 1.5),
      col = "darkturquoise",
      main="Sample Mean Distribution of Bicycle Time Headways\n(Anyang)")

curve( dnorm(x, mean=mean( data_a$th ), sd= sd( data_a$th ) ),
      lty = 1,
      col="firebrick2",
      lwd=2,
      add=TRUE,
      yaxt="n")

com <- sprintf( "Normal dist. with mean (%5.3f) and sd (%5.3f)",
                mean( data_a$th ), sd(data_a$th ) )
legend("top",
      inset=.05,
      c(com),
```

```

col = c("firebrick2"),
lty = c( 1 ),
horiz=TRUE)

hist( data_m$th,
density=20,
breaks= c(0.2*0:15),
prob=TRUE,
xlab="time headway (sec)",
ylim=c(0, 1.5),
col = "darkturquoise",
main="Sample Mean Distribution of Bicycle Time Headways\n(Mangwon)")

curve( dnorm(x, mean=mean( data_m$th ), sd= sd( data_m$th) ),
lty = 1,
col="firebrick2",
lwd=2,
add=TRUE,
yaxt="n")

com <- sprintf( "Normal dist. with mean (%5.3f) and sd (%5.3f)",
mean( data_m$th ),
sd(data_m$th ) )

legend("top",
inset=.05,
c(com),
col = c("firebrick2"),
lty = c( 1 ),
horiz=TRUE)

hist( data_t$th,
density=20,
breaks= c(0.2*0:15),
prob=TRUE,
xlab="time headway (sec)",
ylim=c(0, 1.5),
col = "darkturquoise",
main="Sample Mean Distribution of Bicycle Time Headways\n(Total)")

curve( dnorm(x, mean=mean( data_t$th ), sd= sd( data_t$th) ),
lty = 1,
col="firebrick2",
lwd=2,
add=TRUE,
yaxt="n")

```

```
com <- sprintf( "Normal dist. with mean (%5.3f) and sd (%5.3f)",  
               mean( data_t$th ),  
               sd(data_t$th ) )  
  
legend("top",  
       inset=.05,  
       c(com),  
       col = c("firebrick2"),  
       lty = c( 1 ),  
       horiz=TRUE)
```

부록 2 : 차두시간 분포분석 R코드

본 연구의 제3장에서 종적주행 안전성 분석의 일환으로 자전거도로의 차두시간 분포모형을 제시하였으며, 이를 위해 현장조사를 통해 자전거이용자간의 차두시간을 촬영을 통해 조사하고 분석 및 차두시간 분포모형의 카이스퀘어 검정을 수행하고 그래프를 제시하였다. 이러한 모든 작업은 R 프로그램을 통해 데이터의 수집 및 분석, 통계검정, 그래프 작성이 이루어졌으며, 향후 반복적인 작업의 용이성을 위해 아래와 같이 R코드를 제시하고자 한다.

1. Main.r

```
# Package installation of Pearson distribution
# install.packages( "PearsonDS" )

# Library loading of Pearson distribution
library( PearsonDS )

# Working directory setting
getwd()
setwd( "c:/Users/cwhoon/Bic_final/" )

# Library call
source( "Util.R" )

# Read data
L1 <- read.csv( "data/01L.csv" )
L2 <- read.csv( "data/02L.csv" )
L3 <- read.csv( "data/03L.csv" )
L4 <- read.csv( "data/04L.csv" )
R1 <- read.csv( "data/01R.csv" )
R2 <- read.csv( "data/02R.csv" )
R3 <- read.csv( "data/03R.csv" )
R4 <- read.csv( "data/04R.csv" )

# Define min/max time headway
MIN_TH <- 700-0.000001
MAX_TH <- 30000+0.000001
```



```

# Remove records which are too short or too long
L1_filtered <- L1[L1$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  L1$Time_headway_msec < MAX_TH, ]
L2_filtered <- L2[L2$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  L2$Time_headway_msec < MAX_TH, ]
L3_filtered <- L3[L3$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  L3$Time_headway_msec < MAX_TH, ]
L4_filtered <- L4[L4$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  L4$Time_headway_msec < MAX_TH, ]

R1_filtered <- R1[R1$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  R1$Time_headway_msec < MAX_TH, ]
R2_filtered <- R2[R2$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  R2$Time_headway_msec < MAX_TH, ]
R3_filtered <- R3[R3$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  R3$Time_headway_msec < MAX_TH, ]
R4_filtered <- R4[R4$Time_headway_msec > MIN_TH &
                  R4$Time_headway_msec < MAX_TH, ]

# Count traffic volume and assign the traffic level to every record
L1_filtered$traffic <- 0;
L1_filtered <- CalcTraffic( L1_filtered, 300000L, 40L );
L2_filtered$traffic <- 0;
L2_filtered <- CalcTraffic( L2_filtered, 300000L, 40L );
L3_filtered$traffic <- 0;
L3_filtered <- CalcTraffic( L3_filtered, 300000L, 40L );
L4_filtered$traffic <- 0;
L4_filtered <- CalcTraffic( L4_filtered, 300000L, 40L );

R1_filtered$traffic <- 0;
R1_filtered <- CalcTraffic( R1_filtered, 300000L, 40L );
R2_filtered$traffic <- 0;
R2_filtered <- CalcTraffic( R2_filtered, 300000L, 40L );
R3_filtered$traffic <- 0;
R3_filtered <- CalcTraffic( R3_filtered, 300000L, 40L );
R4_filtered$traffic <- 0;
R4_filtered <- CalcTraffic( R4_filtered, 300000L, 40L );

#####
# Model development with data 1 and 2
#####

# Merge data by direction
left <- rbind( L1_filtered, L2_filtered )
right <- rbind( R1_filtered, R2_filtered )

# Split by traffic level

```

```

left_low <- left[ left$traffic == 1, ]
left_hgh <- left[ left$traffic == 2, ]
right_low <- right[ right$traffic == 1, ]
right_hgh <- right[ right$traffic == 2, ]

# Extract time-headway data only in unit of sec.
ll_t <- left_low$Time_headway_msec / 1000.
lh_t <- left_hgh$Time_headway_msec / 1000.
rl_t <- right_low$Time_headway_msec / 1000.
rh_t <- right_hgh$Time_headway_msec / 1000.

length( ll_t ); mean( ll_t ); sd( ll_t ); 3600./mean( ll_t );
length( lh_t ); mean( lh_t ); sd( lh_t ); 3600./mean( ll_t );
length( rl_t ); mean( rl_t ); sd( rl_t ); 3600./mean( ll_t );
length( rh_t ); mean( rh_t ); sd( rh_t ); 3600./mean( ll_t );

#####
# Begin of Chi-squared Test

# aggregation interval size in seconds
int_sz <- 0.5

# do test
ll05 <- ChisqTest( ll_t, int_sz );
lh05 <- ChisqTest( lh_t, int_sz );
rl05 <- ChisqTest( rl_t, int_sz );
rh05 <- ChisqTest( rh_t, int_sz );

# write outputs
write.csv( ll05, "out/Left_low_05.csv" );
write.csv( lh05, "out/Left_hgh_05.csv" );
write.csv( rl05, "out/Right_low_05.csv" );
write.csv( rh05, "out/Right_hgh_05.csv" );

#
# End of Chi-squared Test
#
# Begin of drawing graph

BiGraph_NE( ll_t,
             c(0.5*0:60),
             "Time Headway Distribution\n(Left, Low Traffic)" )
BiGraph_ShNE( ll_t,
              c(0.5*0:60),
              "Time Headway Distribution\n(Left, Low Traffic)" )
BiGraph_Norm( ll_t,
              c(0.5*0:60),

```

```

        "Time Headway Distribution\n(Left, Low Traffic)" )
BiGraph_Pearson( ll_t,
                c(0.5*0:60),
                "Time Headway Distribution\n(Left, Low Traffic)" )
BiGraph_NE( lh_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Left, High Traffic)" )

BiGraph_ShNE( lh_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Left, High Traffic)" )
BiGraph_Norm( lh_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Left, High Traffic)" )
BiGraph_Pearson( lh_t,
                c(0.5*0:60),
                "Time Headway Distribution\n(Left, High Traffic)" )
BiGraph_NE( rl_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Right, Low Traffic)" )
BiGraph_ShNE( rl_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Right, Low Traffic)" )
BiGraph_Norm( rl_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Right, Low Traffic)" )
BiGraph_Pearson( rl_t,
                c(0.5*0:60),
                "Time Headway Distribution\n(Right, Low Traffic)" )
BiGraph_NE( rh_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Right, High Traffic)" )
BiGraph_ShNE( rh_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Right, High Traffic)" )
BiGraph_Norm( rh_t,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution\n(Right, High Traffic)" )
BiGraph_Pearson( rh_t,
                c(0.5*0:60),
                "Time Headway Distribution\n(Right, High Traffic)" )

#
# End of drawing graph
#
#####
# Verification with data 3 and 4
#####

```

```

# Merge data by direction
left2 <- rbind( L3_filtered, L4_filtered )
right2 <- rbind( R3_filtered, R4_filtered )

# Split by traffic level
left_low2 <- left2[ left2$traffic == 1, ]
left_hgh2 <- left2[ left2$traffic == 2, ]

right_low2 <- right2[ right2$traffic == 1, ]
right_hgh2 <- right2[ right2$traffic == 2, ]

# Extraction of time-headway data
ll_t2 <- left_low2$Time_headway_msec / 1000.
lh_t2 <- left_hgh2$Time_headway_msec / 1000.
rl_t2 <- right_low2$Time_headway_msec / 1000.
rh_t2 <- right_hgh2$Time_headway_msec / 1000.

length( ll_t2 ); mean( ll_t2 ); sd( ll_t2 )
length( lh_t2 ); mean( lh_t2 ); sd( lh_t2 )
length( rl_t2 ); mean( rl_t2 ); sd( rl_t2 )
length( rh_t2 ); mean( rh_t2 ); sd( rh_t2 )

# Begin of Chi-squared Test

# aggregation interval size in seconds
int_sz <- 0.5

# do test
ll052 <- ChisqTest( ll_t2, int_sz );
lh052 <- ChisqTest( lh_t2, int_sz );
rl052 <- ChisqTest( rl_t2, int_sz );
rh052 <- ChisqTest( rh_t2, int_sz );

# write outputs
write.csv( ll052, "out/veri_Left_low_05.csv" );
write.csv( lh052, "out/veri_Left_hgh_05.csv" );
write.csv( rl052, "out/veri_Right_low_05.csv" );
write.csv( rh052, "out/veri_Right_hgh_05.csv" );
#
# End of Chi-squared Test
#
# Begin of drawing graph

BiGraph_NE( ll_t2,
             c(0.5*0:60),
             "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, Low Traffic)"

```

```

)
BiGraph_ShNE( ll_t2,
               c(0.5*0:60),
               "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, Low Traffic)"
)
BiGraph_Norm( ll_t2,
              c(0.5*0:60),
              "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, Low Traffic)"
)
BiGraph_Pearson( ll_t2,
                 c(0.5*0:60),
                 "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, Low
Traffic)" )
BiGraph_NE( lh_t2,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, High Traffic)"
)
BiGraph_ShNE( lh_t2,
              c(0.5*0:60),
              "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, High
Traffic)" )
BiGraph_Norm( lh_t2,
              c(0.5*0:60),
              "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, High
Traffic)" )
BiGraph_Pearson( lh_t2,
                  c(0.5*0:60),
                  "Time Headway Distribution (Verification)\n(Left, High
Traffic)" )
BiGraph_NE( rl_t2,
            c(0.5*0:60),
            "Time Headway Distribution (Verification)\n(Right, Low Traffic)"
)

BiGraph_ShNE( rl_t2,
              c(0.5*0:60), "Time Headway Distribution
(Verification)\n(Right, Low Traffic)" )
BiGraph_Norm( rl_t2,
              c(0.5*0:60),
              "Time Headway Distribution (Verification)\n(Right, Low
Traffic)" )
BiGraph_Pearson( rl_t2,
                  c(0.5*0:60),
                  "Time Headway Distribution (Verification)\n(Right, Low
Traffic)" )
BiGraph_NE( rh_t2,
            c(0.5*0:60),

```

```

        "Time Headway Distribution (Verification)\n(Right, High Traffic)"
    )
    BiGraph_ShNE( rh_t2,
                  c(0.5*0:60),
                  "Time Headway Distribution (Verification)\n(Right, High
Traffic)" )
    BiGraph_Norm( rh_t2,
                  c(0.5*0:60),
                  "Time Headway Distribution (Verification)\n(Right, High
Traffic)" )
    BiGraph_Pearson( rh_t2,
                     c(0.5*0:60),
                     "Time Headway Distribution (Verification)\n(Right, High
Traffic)" )

# End of drawing graph

```

2. Util.r

```

# Begin of file

# File name: FnBicycle.R

# * Function name: Cac1Traffic
# * Description:
#
# [in] df : data frame
# [in] interval : time interval for collecting traffic volume
# [in] cut_pt : dividng point of traffic volume for low and high
#
# *****
CalcTraffic <- function ( df, interval, cut_pt )
{
    sum <- 0L
    i <- 1L
    cnt <- vector( mode = "integer", length = 10L )
    while ( sum < nrow( df ) ) {

        cond <- df$Follower_time_msec > (i-1L)*interval+0.0001 &
df$Follower_time_msec < i*interval

        cnt[i] <- nrow( df[ cond, ] );
        if ( cnt[i] < cut_pt )
            df[ cond, ]$traffic <- 1
        else
            df[ cond, ]$traffic <- 2
    }
}

```

```

    sum <- sum + cnt[i];

    i <- i+1;
  }

  return( df );
}

# *****
#
# * Function name: Cac1TrafficNSpeed
# * Description:
#
# [in] df : data frame
# [in] moving_sz : moving size in rolling average
# [in] summation_sz : summation interval size
#
# *****
CalcTrafficNSpeed <- function ( df, moving_sz, summation_sz )
{
  MV_SZ <- moving_sz    # moving size (e.g. 30s, 1min, ... )
  SUM_SZ <- summation_sz # summation size (e.g. 30s, 1min, ... )

  MX_TM <- max( df$Follower_time_msec )

  tm <- 0L

  out <- data.frame( vol = double(), spd = double() );
  while( tm < MX_TM )
  {
    tmp <- df[ df$Follower_time_msec >= tm &
              df$Follower_time_msec < tm+SUM_SZ, ]

    out <- rbind( out,
                  data.frame( vol = length( tmp$Follower_time_msec ),
                              spd = mean(tmp$speed)) )

    tm <- tm + MV_SZ

    tmp; out; tm;
  }

  out <- out[ out$vol > 0, ]

  return( out )
}

```

```

# *****
#
# * Function name: ChisqTest
# * Description:
#
# [in] ll_t : time headway data
# [in] int_sz : aggregation interval size (e.g. 0.5 sec)
#
# *****
ChisqTest <- function( ll_t, int_sz )
{
  interval <- c(int_sz*0:(30/int_sz))
  int_min = c( int_sz*0:((30/int_sz)-1))
  int_max = c( int_sz*1:(30/int_sz))

  lambda <- 1./mean( ll_t )
  th_mean <- mean( ll_t )
  th_sd <- sd( ll_t )
  th_sd_may <- SdMay( ll_t )

  # class( ll ); class( ll_f );
  ll_df <- as.data.frame( table( cut( ll_t,
                                     breaks = (interval-0.0001) ) ) )

  ll_df <- transform(ll_df,
                    cumFreq = cumsum(Freq),
                    relative = prop.table(Freq))

  llow <- data.frame( min = int_min, max = int_max )
  llow <- transform( llow,
                    obs_freq = ll_df$Freq,
                    obs_prob = prop.table( ll_df$Freq ) )

  # Negative exponential distribution
  llow$exp_prob <-
    pexp( llow$max, rate = lambda ) - pexp( llow$min, rate = lambda )
  llow$exp_freq <-
    round( llow$exp_prob * sum( llow$obs_freq ), digits = 0 ) # 반올림

  # Shifted negative exponential distribution
  llow$s.exp_prob <-
    pexp( llow$max-0.5, rate = lambda ) -
    pexp( llow$min-0.5, rate = lambda )
  llow$s.exp_freq <-
    round( llow$s.exp_prob*sum( llow$obs_freq ), digits = 0 )

  # Normal distribution

```



```

llow$norm_prob <-
  pnorm( llow$max, th_mean, th_sd ) -
  pnorm( llow$min, th_mean, th_sd )
llow$norm_freq <-
  round( llow$norm_prob * sum( llow$obs_freq ), digits = 0 )

# Pearson type III distribution
pIIIPars <-
  list( shape=th_mean/th_sd_may, location=0, scale=th_sd_may )
llow$pearson_prob <-
  ppearsonIII( llow$max, params = pIIIPars ) -
  ppearsonIII( llow$min, params = pIIIPars )
llow$pearson_freq <-
  round( llow$pearson_prob * sum( llow$obs_freq ), digits = 0 )

sum( llow$exp_prob );
sum( llow$exp_freq )
sum( llow$s.exp_prob );
sum( llow$s.exp_freq )
sum( llow$norm_prob );
sum( llow$norm_freq )
sum( llow$pearson_prob );
sum( llow$pearson_freq )

# Chi-squared statistics
chisq.obs <-
  CalcChisqStatistics( llow$obs_freq, llow$obs_freq )
chisq.exp <-
  CalcChisqStatistics( llow$obs_freq, llow$exp_freq )
chisq.s.exp <-
  CalcChisqStatistics( llow$obs_freq, llow$s.exp_freq )
chisq.norm <-
  CalcChisqStatistics( llow$obs_freq, llow$norm_freq )
chisq.pearson <-
  CalcChisqStatistics( llow$obs_freq, llow$pearson_freq )

# Chi-squared value
chisq.95 <- qchisq(.95, df=length( llow$obs_prob)-1 )
chisq.97 <- qchisq(.97, df=length( llow$obs_prob)-1 )
chisq.99 <- qchisq(.99, df=length( llow$obs_prob)-1 )

print( sprintf("CNT: Obs(%d) Exp(%d) SExp(%d) Norm(%d) Pearson(%d)",
               sum(llow$obs_freq),
               sum(llow$exp_freq),
               sum(llow$s.exp_freq),
               sum(llow$norm_freq),
               sum(llow$pearson_freq) ) )

```

```

print( sprintf( "CHISQ-STAT:    Exp (%7.4f vs %7.4f (%s) )",
               chisq.exp,
               chisq.99,
               chisq.exp < chisq.99 ) )
print( sprintf( "CHISQ-STAT:    S-Exp (%7.4f vs %7.4f (%s) )",
               chisq.s.exp,
               chisq.99,
               chisq.s.exp < chisq.99 ) )
print( sprintf( "CHISQ-STAT:    Norm (%7.4f vs %7.4f (%s) )",
               chisq.norm,
               chisq.99,
               chisq.norm < chisq.99 ) )
print( sprintf( "CHISQ-STAT: Pearson (%7.4f vs %7.4f (%s) )",
               chisq.pearson,
               chisq.99,
               chisq.pearson < chisq.99 ) )

return( llow )
}

# *****
#
# * Function name: CalcChisqStatistics
# * Description:
#
# [in] obs : observed data
# [in] exp : experiment data
#
# *****
CalcChisqStatistics <- function ( obs, exp )
{
  cnt <- length( obs );
  sum <- 0.;
  for (i in 1:cnt)
  {
    if ( exp[i] < 0.0000000001 ) next;

    c <- (obs[i]-exp[i])*(obs[i]-exp[i]) / exp[i];
    sum <- sum + c;
  }

  return( sum )
}

SdMay <- function ( vals )
{

```

```

    return ( (mean(vals) - 0.5) * 0.5 )
}

# *****
#
# * Function name: BiGraph_NE
# * Description: Negative exponential graph drawing
#
#     [in] ll_t: vector of time headway
#     [in] interval: e.g. c(0.5*0:60) -> 0, 0.5, 1, ..., 29.5, 30
#     [in] main_title: the title of the graph
#
# *****
BiGraph_NE <- function ( ll_t, interval, main_title )
{
  hist( ll_t,
        density = 50,
        breaks = interval,
        prob = TRUE,
        ylim = c(0, 0.4),
        col = "darkturquoise",
        xlab = "time headway (sec) ",
        main = main_title )

  x <- seq( -4, 4, length = 100 )
  curve( dexp(x, rate = 1./mean( ll_t ) ),
        lty = 2,
        col="firebrick2",
        lwd=2,
        add=TRUE,
        yaxt="n" )

  legend("topright", inset=.05,
        c("Exponential"),
        col = c("firebrick2"),
        lty = c( 2 ),
        horiz=FALSE )
}

# *****
#
# * Function name: BiGraph_ShNE
# * Description: Shifted negative exponential graph drawing
#
#     [in] ll_t: the vector of time headway
#     [in] interval: e.g. c(0.5*0:60) -> 0, 0.5, 1, ..., 29.5, 30

```

```

#      [in] main_title: the title of the graph
#
# *****
BiGraph_ShNE <- function ( ll_t, interval, main_title )
{
  hist( ll_t,
        density = 50,
        breaks = interval,
        prob = TRUE,
        ylim = c(0, 0.4),
        col = "darkturquoise",
        xlab = "time headway (sec) ",
        main = main_title )

  x <- seq( -4, 4, length = 100 )
  curve( dexp(x-0.5,
              rate = 1./mean( ll_t ) ),
        lty = 2,
        col = "firebrick2",
        lwd = 2,
        add = TRUE,
        yaxt= "n" )

  legend("topright",
        inset=.05,
        "Shifted-Exponential",
        col = "firebrick2",
        lty = 2,
        horiz=FALSE )
}

# *****
#
# * Function name: BiGraph_Norm
# * Description: Normal distribution graph drawing
#
#      [in] ll_t: the vector of time headway
#      [in] interval: e.g. c(0.5*0:60) -> 0, 0.5, 1, ..., 29.5, 30
#      [in] main_title: the title of the graph
#
# *****
BiGraph_Norm <- function ( ll_t, interval, main_title )
{
  hist( ll_t,
        density = 50,
        breaks = interval,

```

```

        prob = TRUE,
      ylim = c(0, 0.4),
      col = "darkturquoise",
      xlab = "time headway (sec) ",
      main = main_title )

x <- seq( -4, 4, length = 100 )
curve( dnorm(x, mean=mean( ll_t ),
             sd= sd( ll_t ) ),
      lty = 2,
      col="firebrick2",
      lwd=2,
      add=TRUE,
      yaxt="n" )

legend("topright",
      inset=.05,
      "Normal",
      col = "firebrick2",
      lty = 2,
      horiz=FALSE )
}

# *****
#
# * Function name: BiGraph_Pearson
# * Description: Pearson type III graph drawing
#
# [in] ll_t: the vector of time headway
# [in] interval: e.g. c(0.5*0:60) -> 0, 0.5, 1, ..., 29.5, 30
# [in] main_title: the title of the graph
#
# *****
BiGraph_Pearson <- function ( ll_t, interval, main_title )
{
  hist( ll_t,
        density = 50,
        breaks = interval,
        prob = TRUE,
        ylim = c(0, 0.4),
        col = "darkturquoise",
        xlab = "time headway (sec) ",
        main = main_title )

```

```

x <- seq( -4, 4, length = 100 )
pIIIPars <- list( shape=mean(l1_t)/SdMay(l1_t),
                  location=0, scale=SdMay( l1_t ) )
curve( dpearsonIII(x, params=pIIIPars),
        lty = 2,
        col="firebrick2",
        lwd=2,
        add=TRUE,
        yaxt="n" )

legend("topright",
        inset=.05,
        "Normal",
        col = "firebrick2",
        lty = 2,
        horiz=FALSE )
}

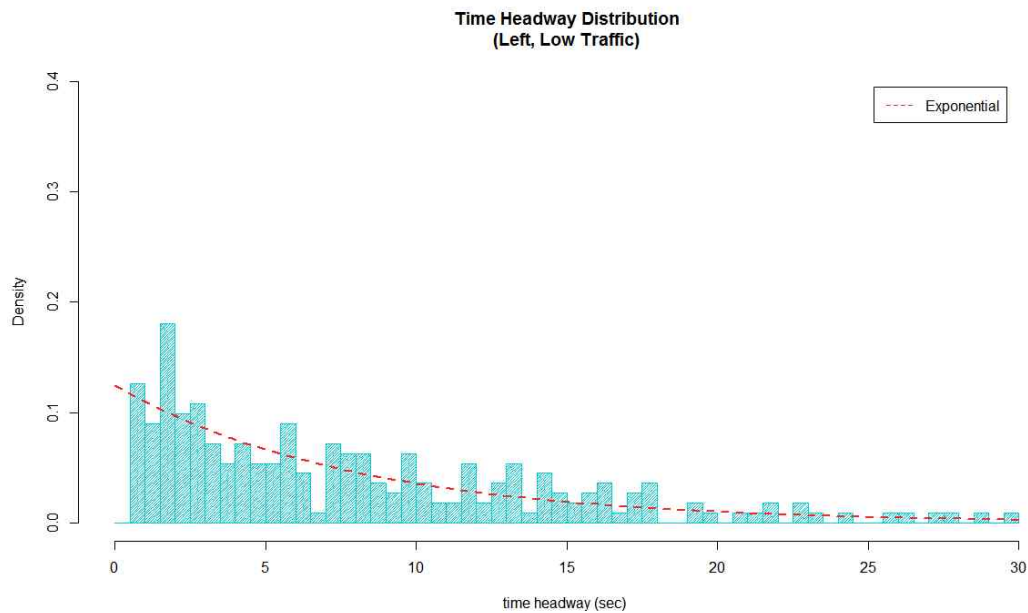
```

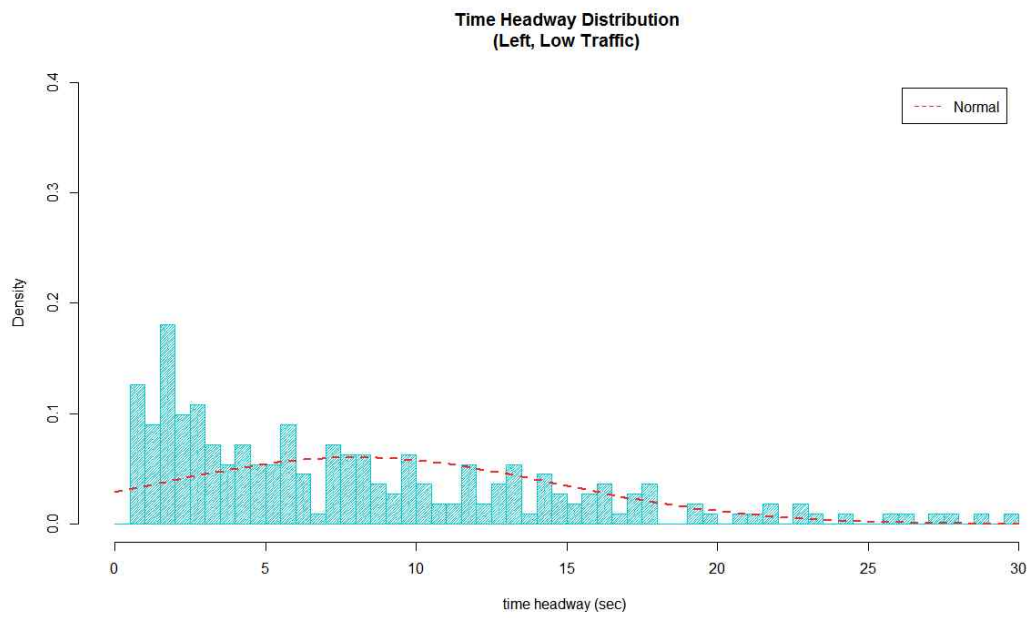
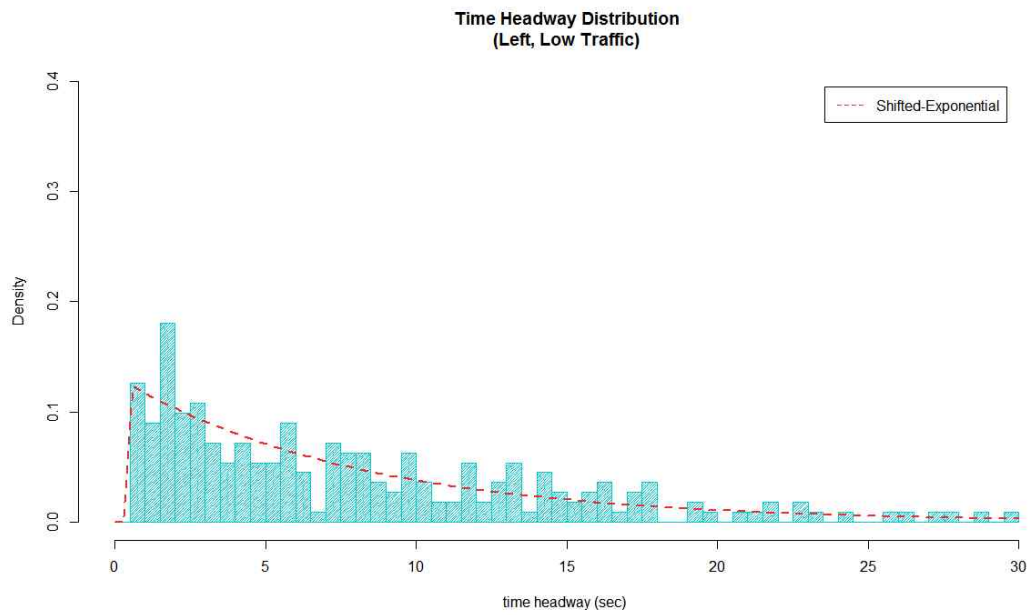
부록 3 : 차두시간 분포모형 비교

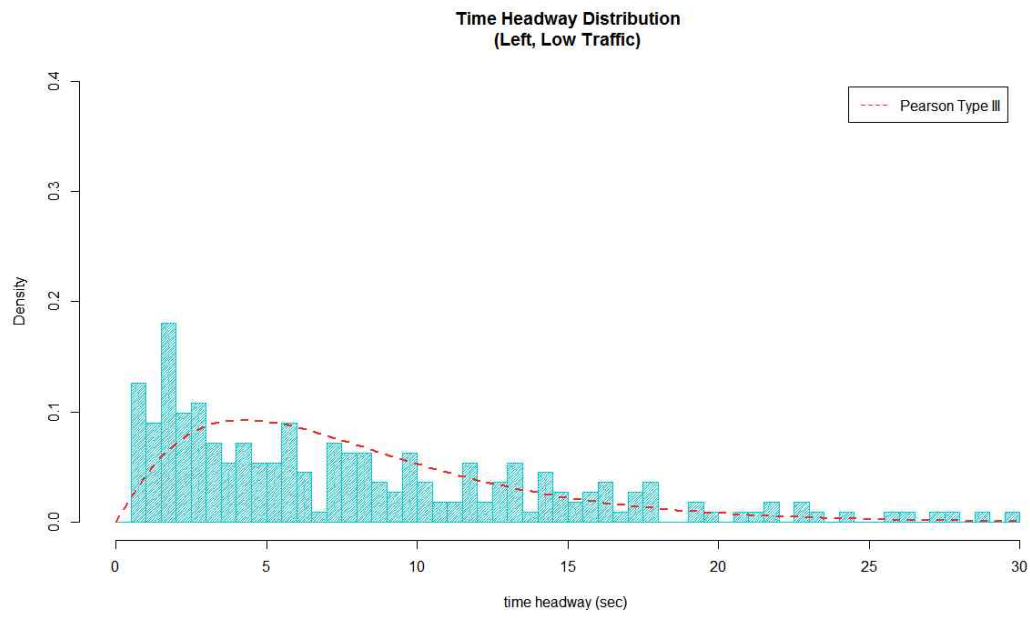
본 연구의 제3장에서 제시한 차두시간 분포모형은 각 이론치와 관측치간의 적합도를 그래프로 제시한 바 있으나, 각 모형과 관측치간의 세부적인 그래프는 본문에 포함하지 못하였다. 따라서 본 부록에서 모형에 따른 관측치와의 비교 그래프를 제시하고자 한다. 먼저 차두시간 분포모형의 선정단계에서 방향별, 교통량별로 구분하여 제시하였으며, 적용 및 평가단계에서 동일한 방법으로 구분하여 제시하였다.

1. 차두시간 분포모형 선정

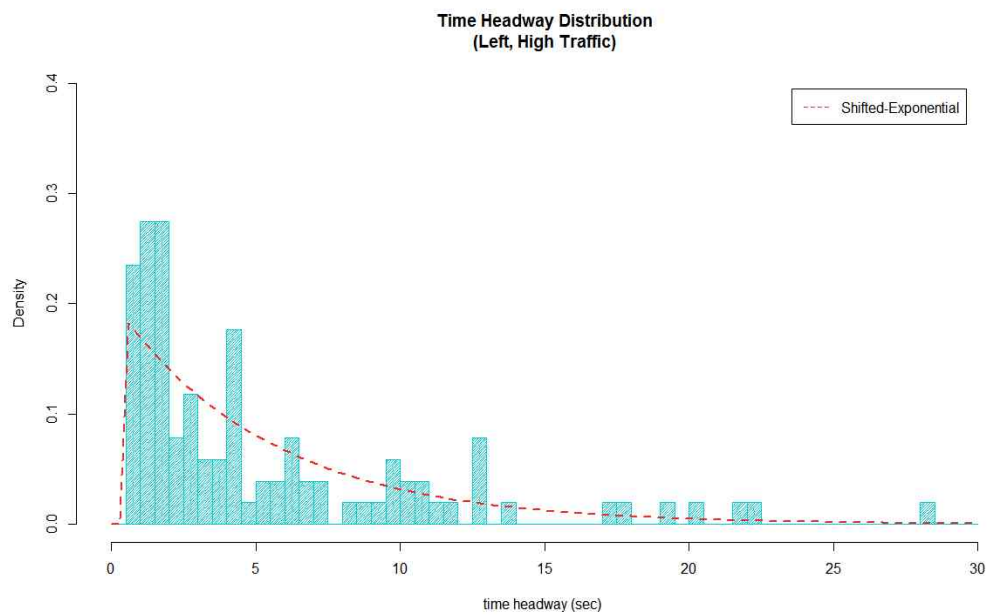
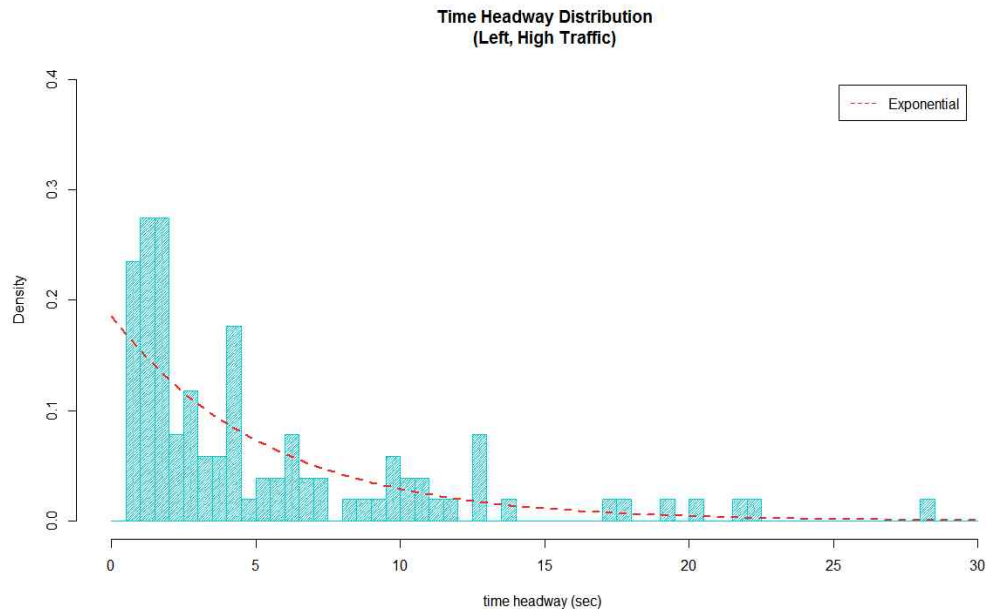
① 좌측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 비교

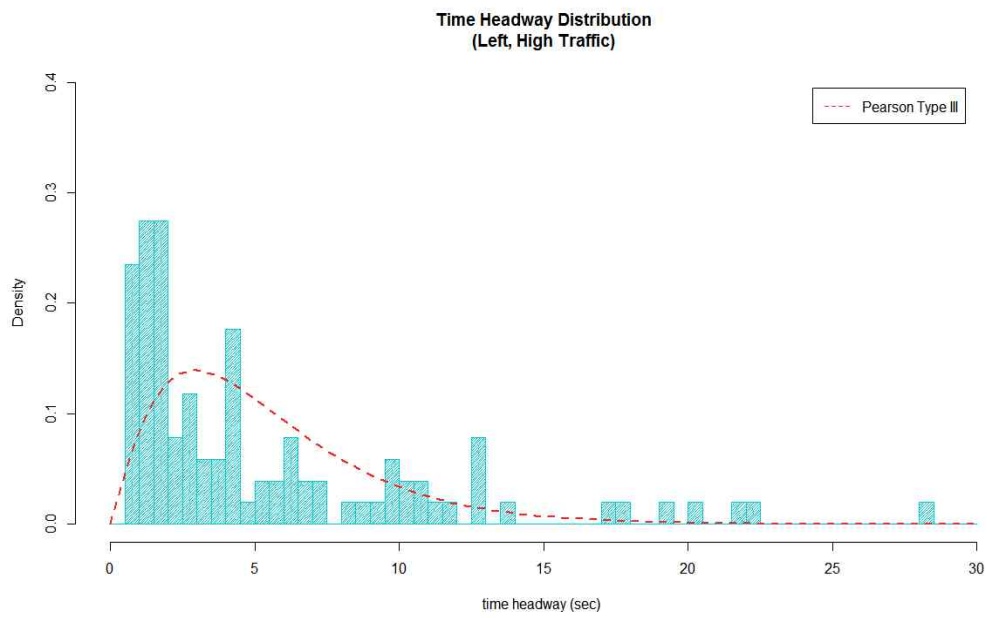
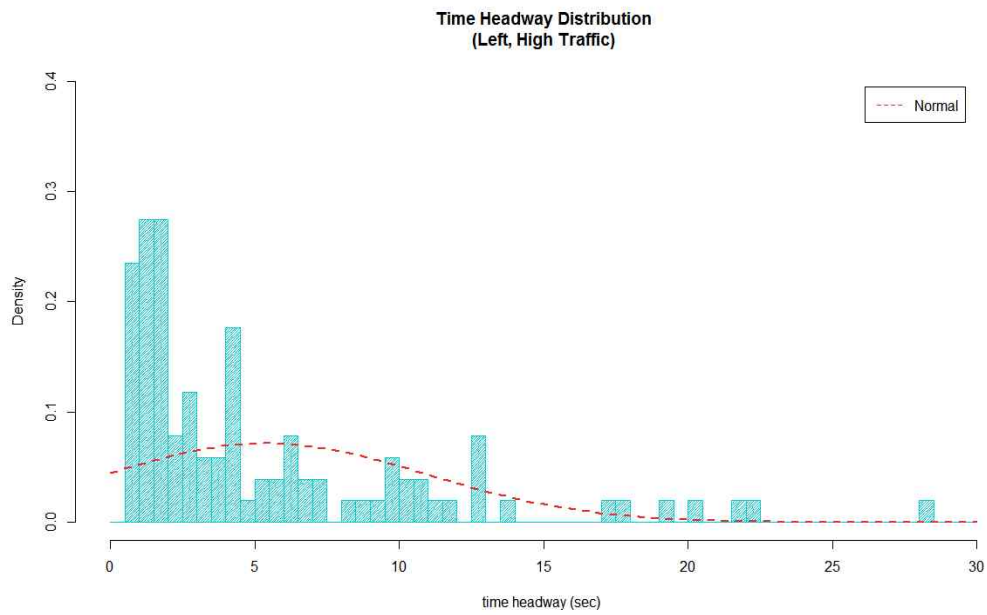




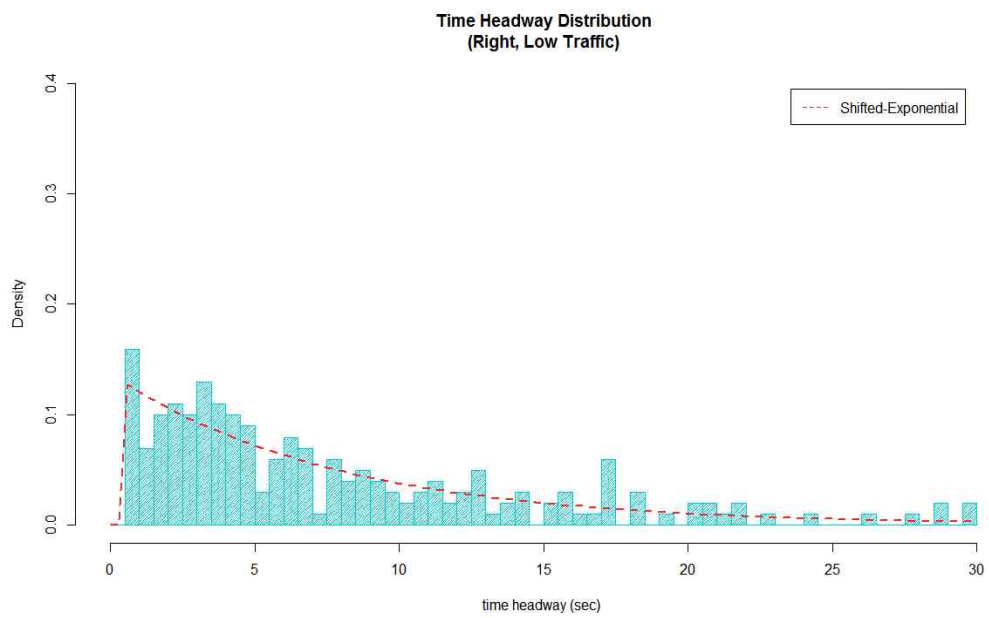
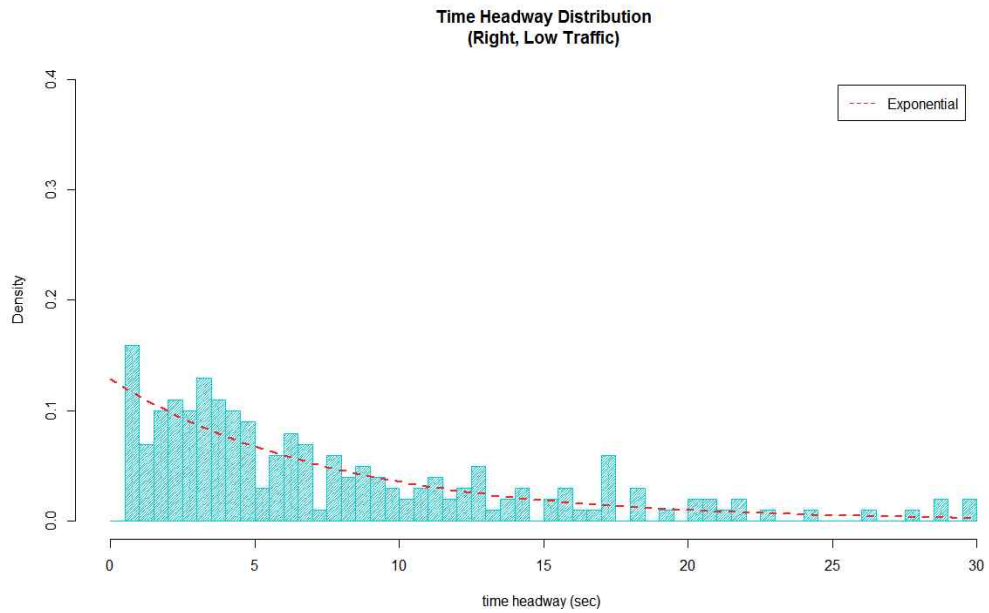


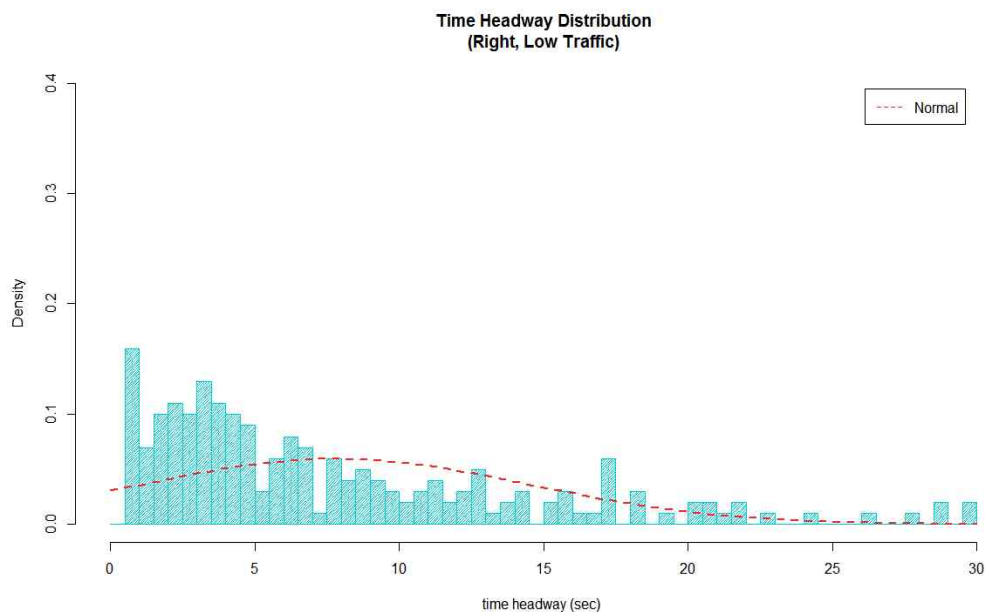
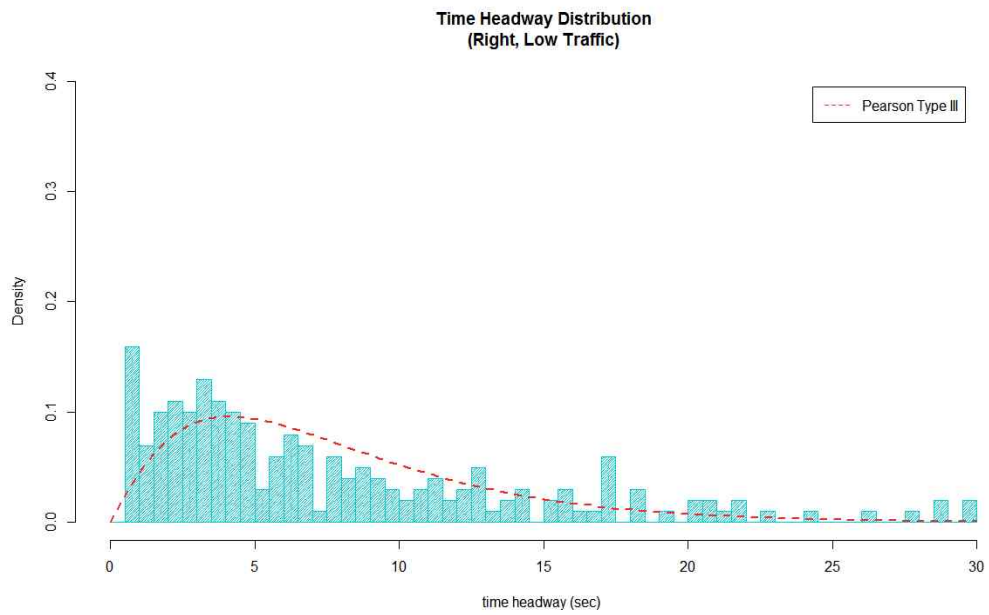
② 좌측, 높은 수준의 교통량과 모형의 비교



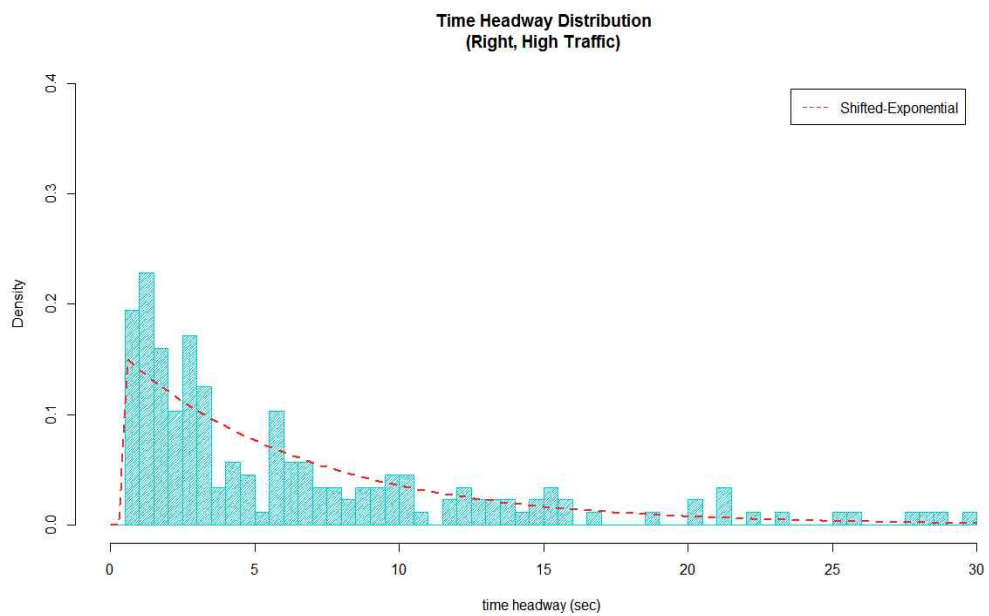
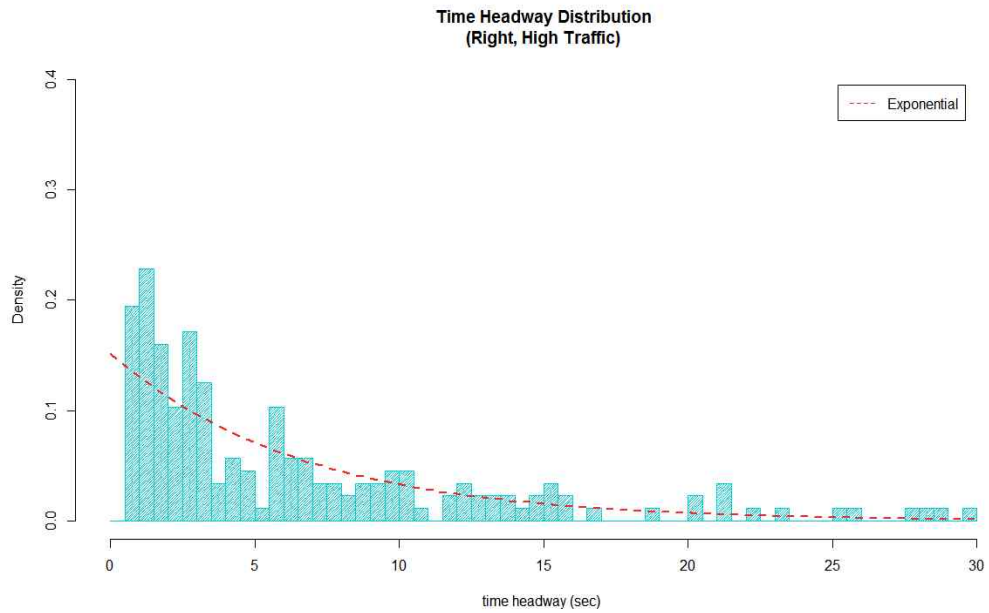


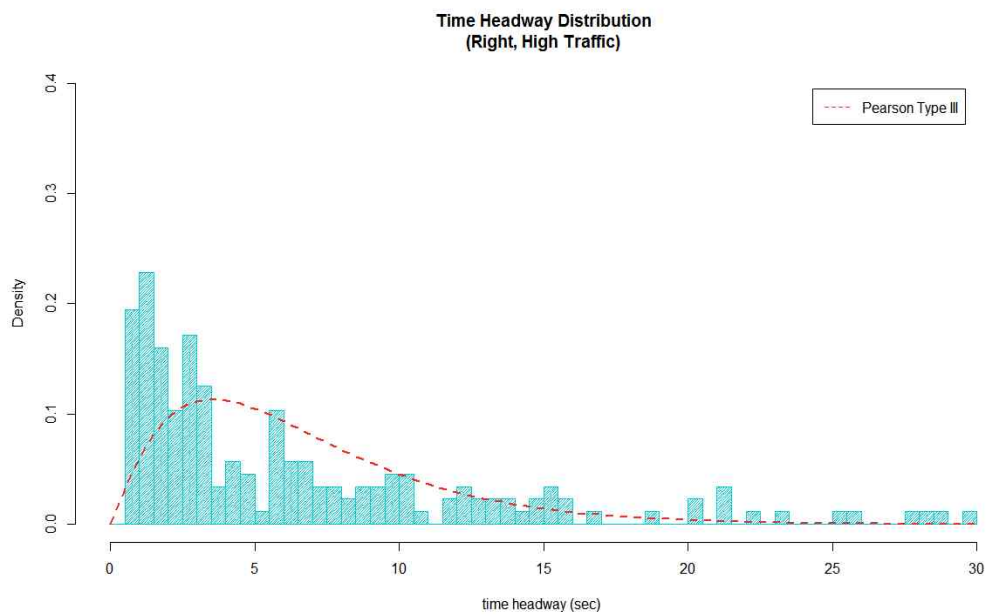
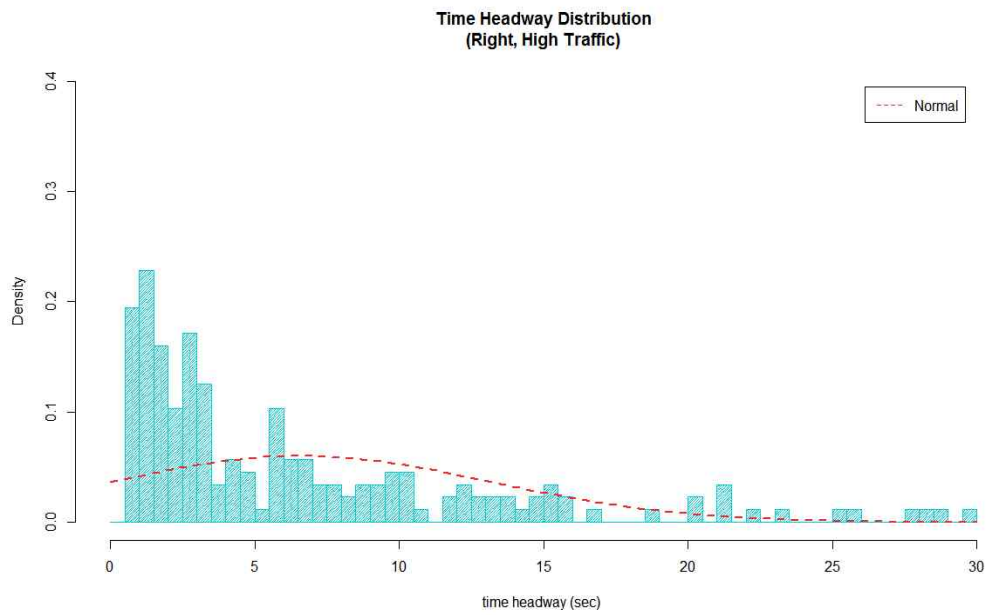
③ 우측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 비교





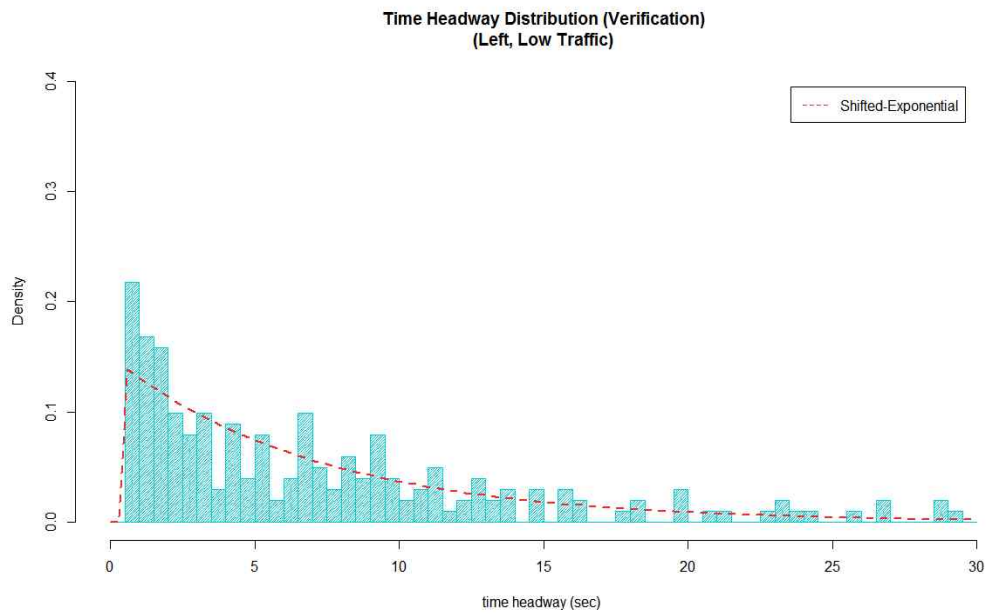
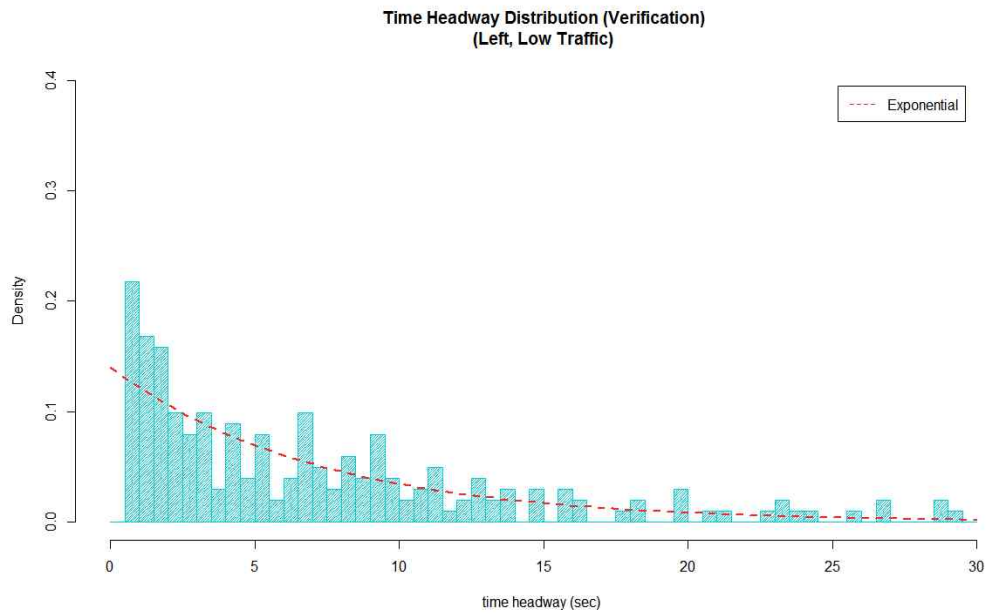
④ 우측, 높은 수준의 교통량과 모형의 비교



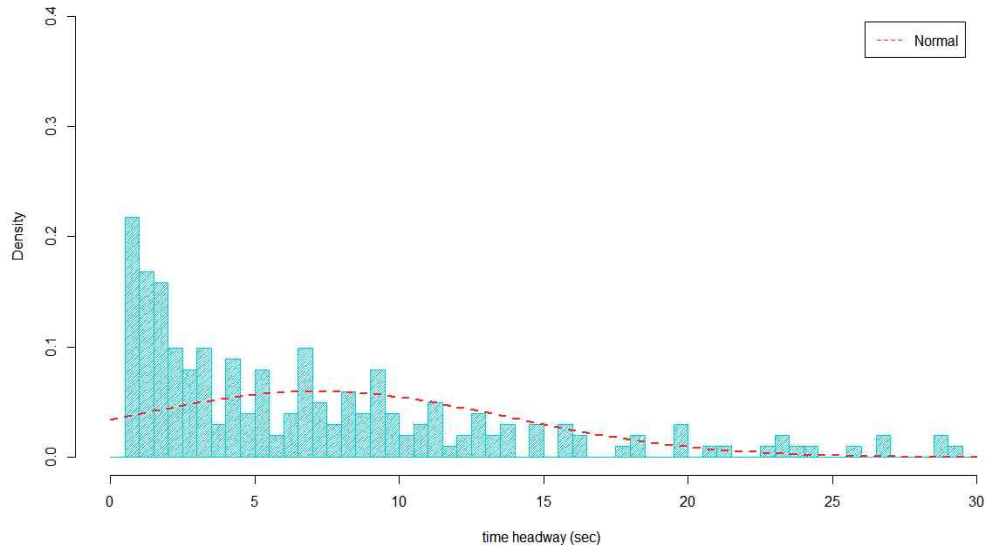


2. 차두시간 분포모형 적용 및 평가

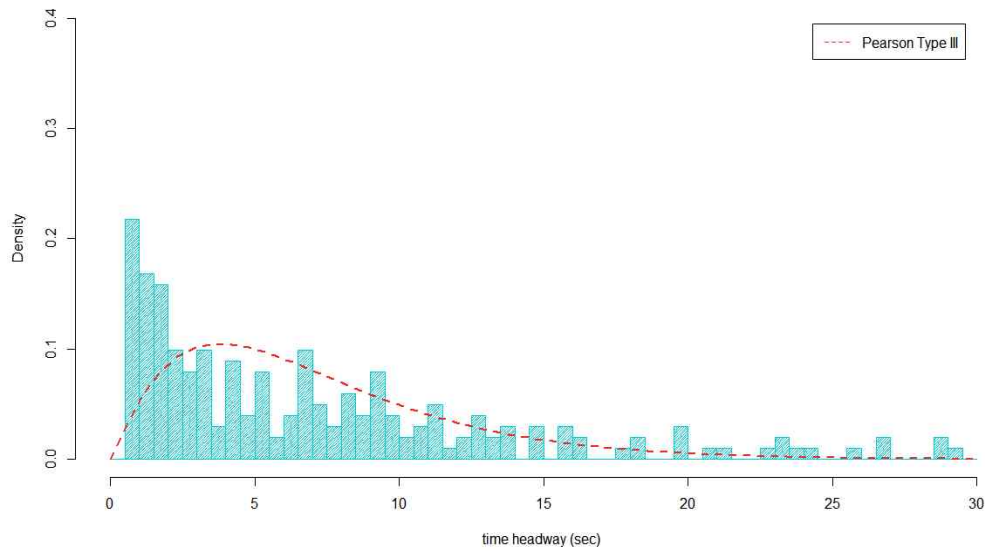
① 좌측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 비교



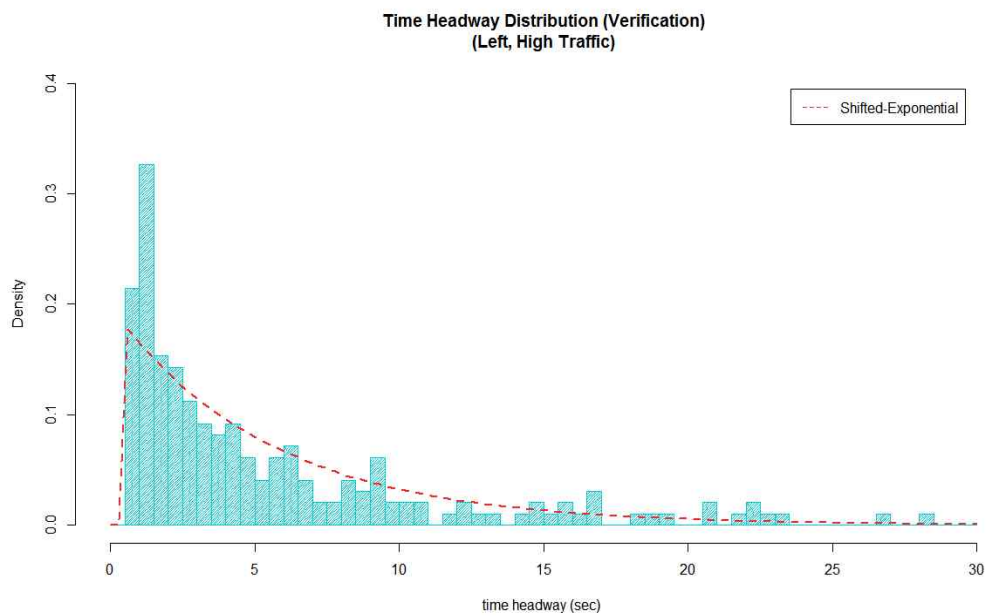
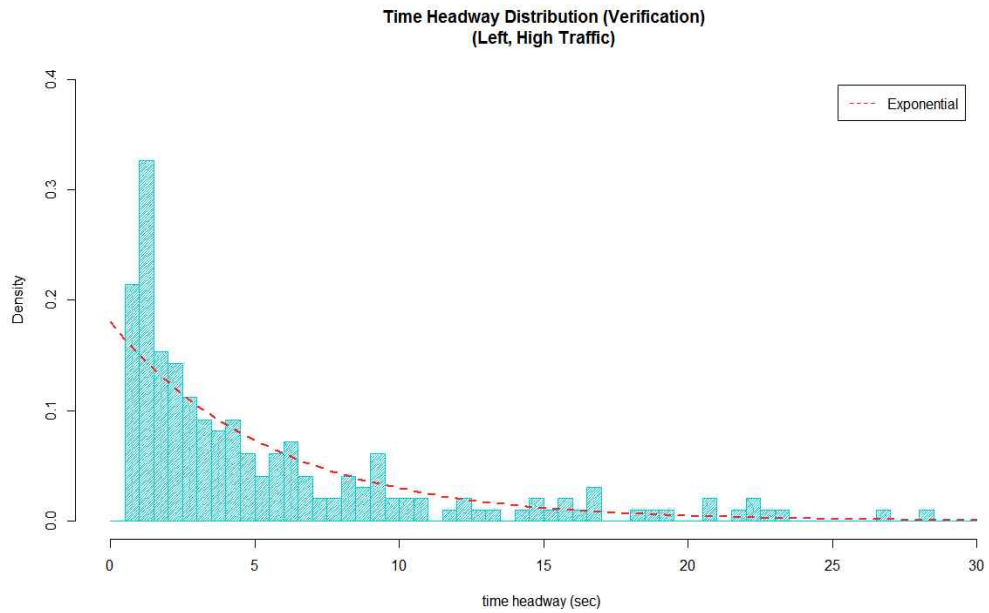
Time Headway Distribution (Verification)
(Left, Low Traffic)



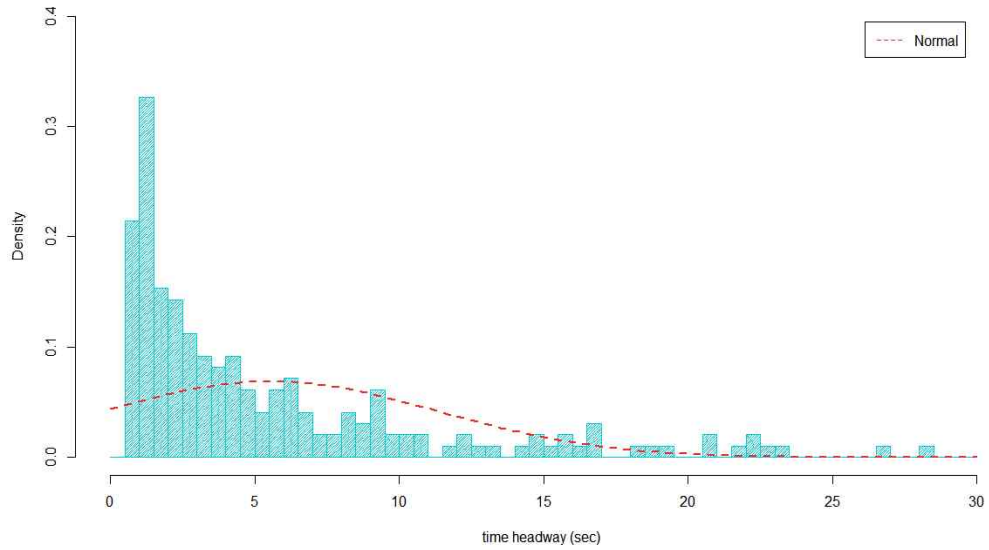
Time Headway Distribution (Verification)
(Left, Low Traffic)



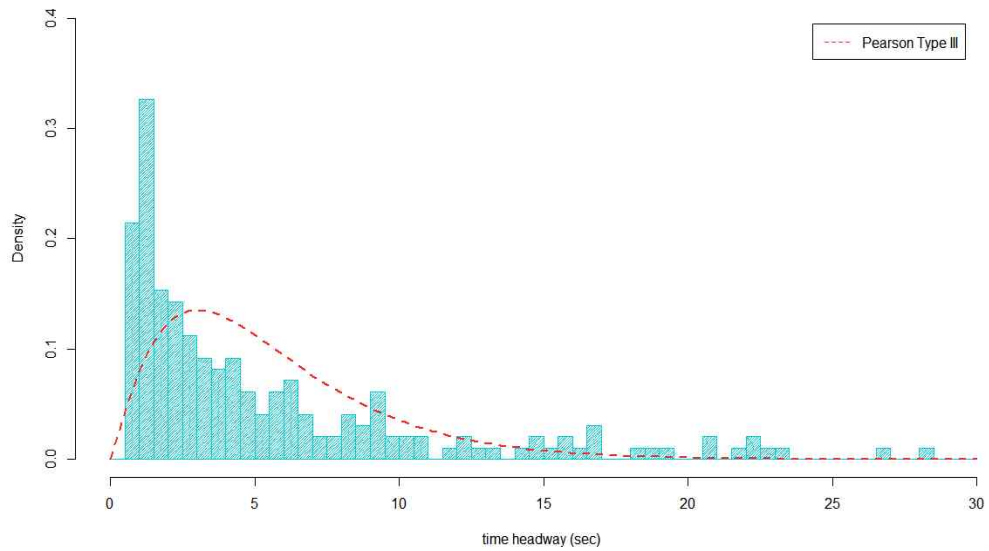
② 좌측, 높은 수준의 교통량과 모형의 비교



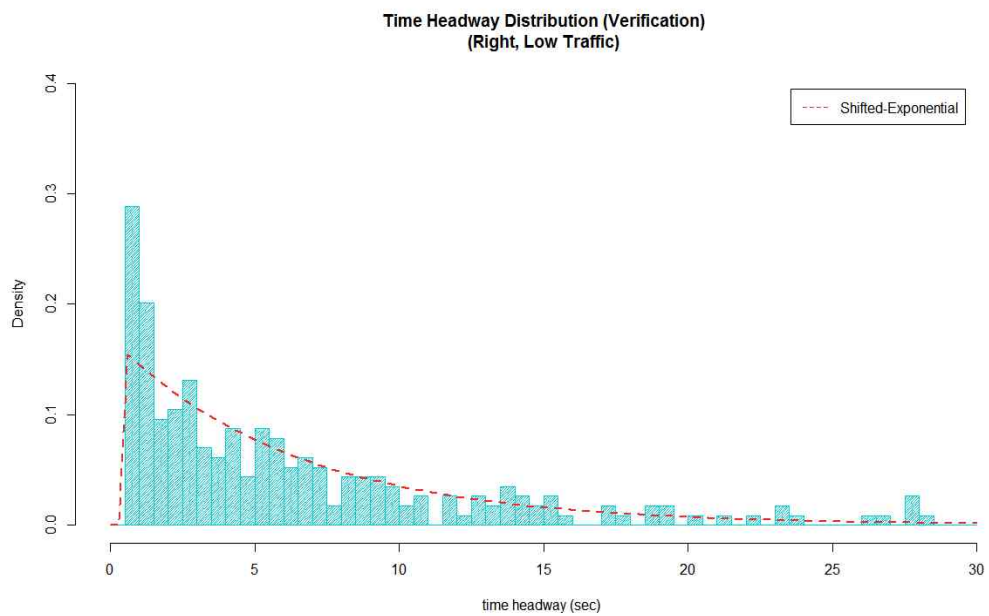
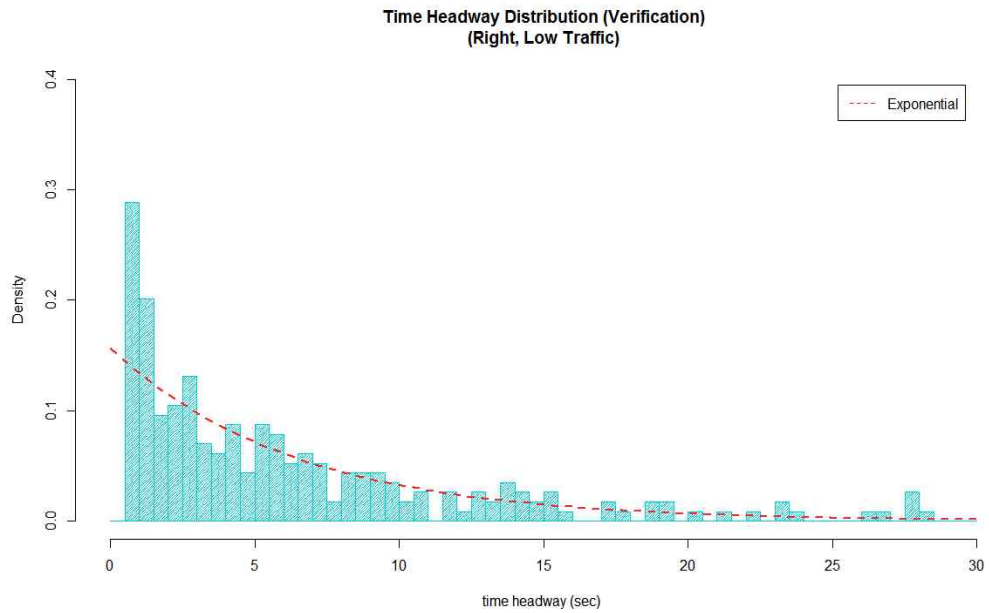
Time Headway Distribution (Verification)
(Left, High Traffic)



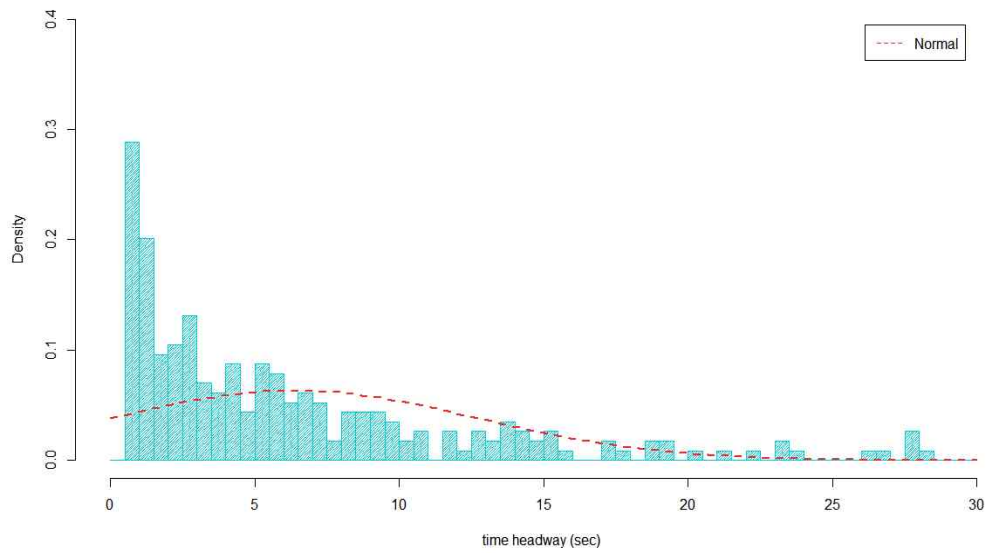
Time Headway Distribution (Verification)
(Left, High Traffic)



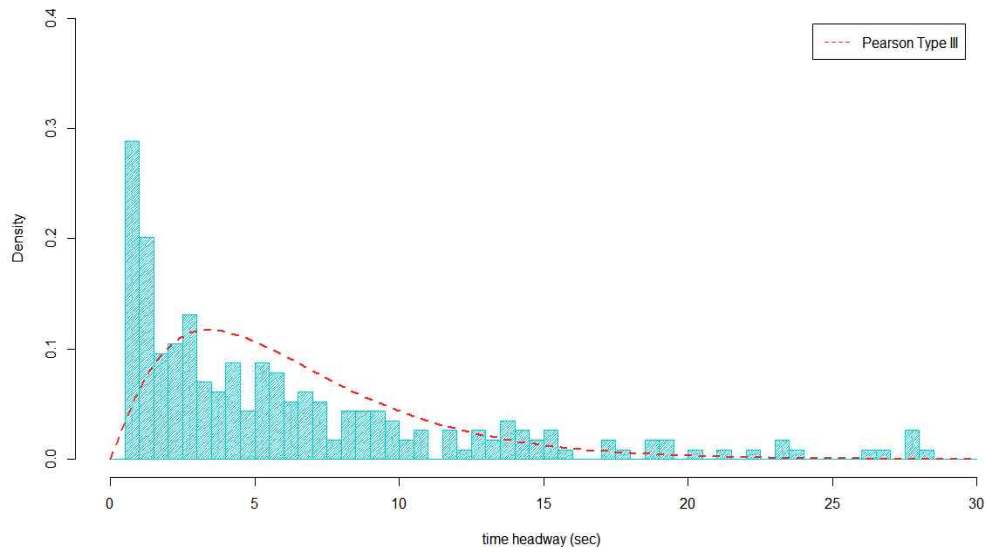
③ 우측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 비교



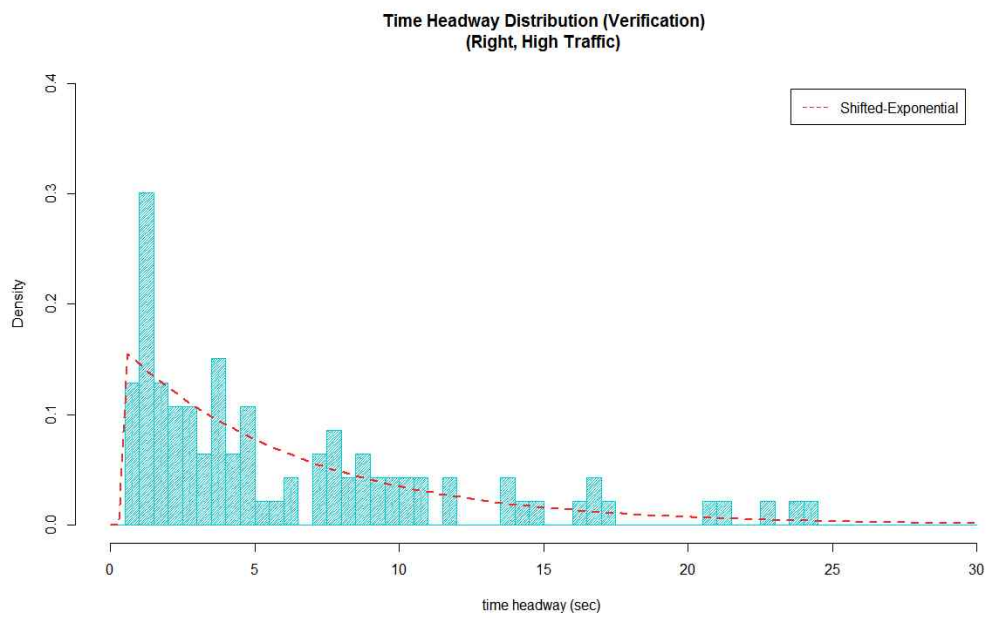
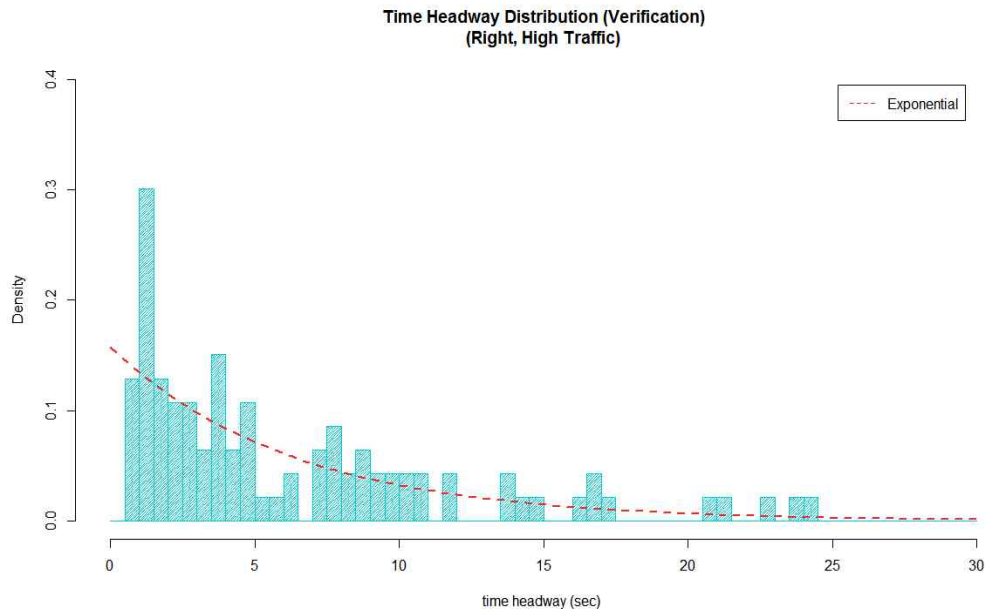
**Time Headway Distribution (Verification)
(Right, Low Traffic)**



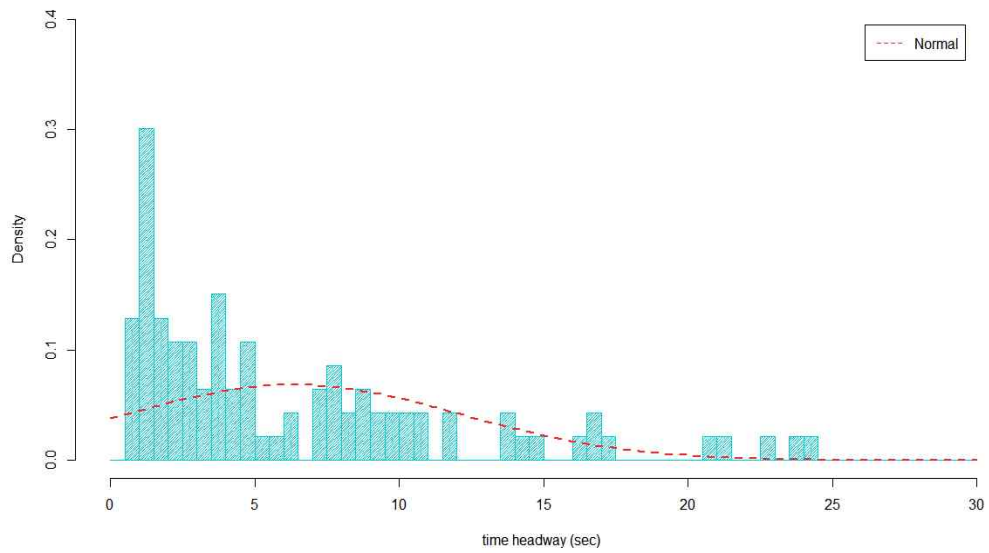
**Time Headway Distribution (Verification)
(Right, Low Traffic)**



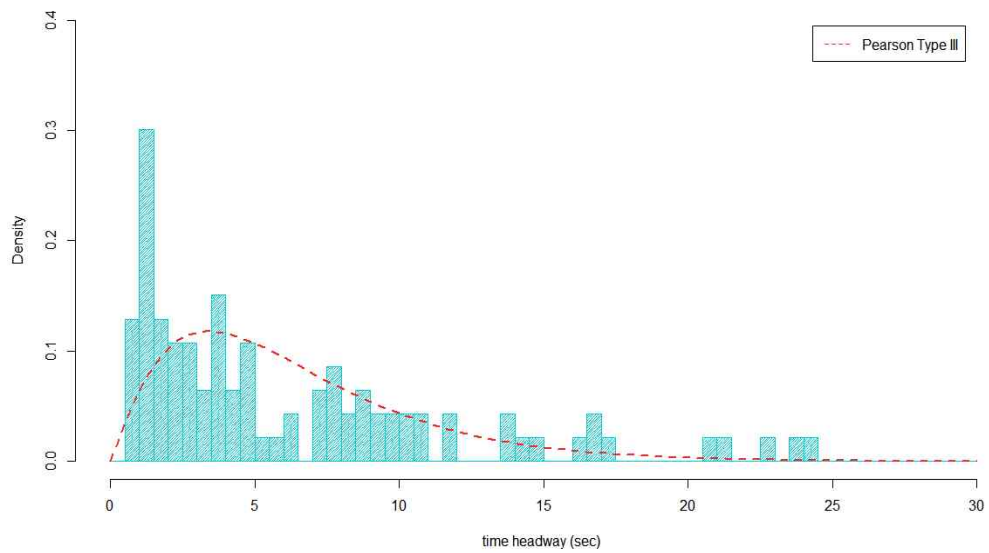
④ 우측, 높은 수준의 교통량과 모형의 비교



**Time Headway Distribution (Verification)
(Right, High Traffic)**



**Time Headway Distribution (Verification)
(Right, High Traffic)**



부록 4 : 차두시간 분포모형 데이터

본 연구의 제3장에서 제시한 차두시간 분포모형의 이론치와 관측치에 대한 상세 데이터를 본 부록에서 제시하고자 한다. 차두시간 분포모형의 선정단계에서 방향별, 교통량별로 관측치와 각 모형별 이론치를 제시하였으며, 적용 및 평가단계에서 동일한 방법으로 구분하여 제시하였다.

1. 차두시간 분포모형 선정

① 좌측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	13	-	3	1
0.5	1	14	13	13	4	4
1	1.5	9	12	13	4	6
1.5	2	19	11	12	4	7
2	2.5	11	10	11	5	9
2.5	3	14	10	10	5	9
3	3.5	7	9	10	5	10
3.5	4	7	9	9	5	10
4	4.5	8	8	9	6	10
4.5	5	6	8	8	6	10
5	5.5	5	7	8	6	10
5.5	6	11	7	7	6	10
6	6.5	5	6	7	6	9
6.5	7	1	6	6	7	9
7	7.5	8	6	6	7	8
7.5	8	7	5	6	7	8
8	8.5	7	5	5	7	8
8.5	9	4	5	5	7	7
9	9.5	3	4	5	7	7
9.5	10	6	4	4	6	6
10	10.5	5	4	4	6	6
10.5	11	2	4	4	6	5

11	11.5	2	3	4	6	5
11.5	12	6	3	3	6	4
12	12.5	2	3	3	5	4
12.5	13	3	3	3	5	4
13	13.5	6	3	3	5	3
13.5	14	2	2	3	5	3
14	14.5	4	2	2	4	3
14.5	15	4	2	2	4	3
15	15.5	2	2	2	4	2
15.5	16	3	2	2	3	2
16	16.5	4	2	2	3	2
16.5	17	1	2	2	3	2
17	17.5	3	2	2	3	2
17.5	18	4	2	2	2	1
18	18.5	0	1	2	2	1
18.5	19	0	1	1	2	1
19	19.5	2	1	1	2	1
19.5	20	1	1	1	1	1
20	20.5	0	1	1	1	1
20.5	21	1	1	1	1	1
21	21.5	1	1	1	1	1
21.5	22	2	1	1	1	1
22	22.5	0	1	1	1	1
22.5	23	2	1	1	1	1
23	23.5	1	1	1	0	0
23.5	24	0	1	1	0	0
24	24.5	1	1	1	0	0
24.5	25	0	1	1	0	0
25	25.5	0	1	1	0	0
25.5	26	1	1	1	0	0
26	26.5	1	1	1	0	0
26.5	27	0	0	1	0	0
27	27.5	1	0	0	0	0
27.5	28	1	0	0	0	0
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	1	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	1	0	0	0	0

② 좌측, 높은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	9	-	2	1
0.5	1	10	8	9	3	3
1	1.5	16	8	8	3	5
1.5	2	14	7	8	3	6
2	2.5	3	6	7	3	7
2.5	3	7	6	6	3	7
3	3.5	3	5	6	3	7
3.5	4	3	5	5	3	7
4	4.5	9	4	5	4	6
4.5	5	1	4	4	4	6
5	5.5	2	4	4	4	6
5.5	6	2	3	4	4	5
6	6.5	4	3	3	4	5
6.5	7	2	3	3	4	4
7	7.5	2	2	3	3	4
7.5	8	0	2	2	3	3
8	8.5	0	2	2	3	3
8.5	9	2	2	2	3	2
9	9.5	1	2	2	3	2
9.5	10	2	2	2	3	2
10	10.5	3	1	2	2	2
10.5	11	2	1	1	2	1
11	11.5	1	1	1	2	1
11.5	12	1	1	1	2	1
12	12.5	0	1	1	2	1
12.5	13	4	1	1	2	1
13	13.5	0	1	1	1	1
13.5	14	1	1	1	1	1
14	14.5	0	1	1	1	0
14.5	15	0	1	1	1	0
15	15.5	0	1	1	1	0
15.5	16	0	1	1	1	0
16	16.5	0	0	1	1	0
16.5	17	0	0	0	0	0
17	17.5	1	0	0	0	0

17.5	18	1	0	0	0	0
18	18.5	0	0	0	0	0
18.5	19	0	0	0	0	0
19	19.5	1	0	0	0	0
19.5	20	0	0	0	0	0
20	20.5	1	0	0	0	0
20.5	21	0	0	0	0	0
21	21.5	0	0	0	0	0
21.5	22	1	0	0	0	0
22	22.5	1	0	0	0	0
22.5	23	0	0	0	0	0
23	23.5	0	0	0	0	0
23.5	24	0	0	0	0	0
24	24.5	0	0	0	0	0
24.5	25	0	0	0	0	0
25	25.5	0	0	0	0	0
25.5	26	0	0	0	0	0
26	26.5	0	0	0	0	0
26.5	27	0	0	0	0	0
27	27.5	0	0	0	0	0
27.5	28	0	0	0	0	0
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0

③ 우측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	파이어스 III
0	0.5	-	13	-	3	1
0.5	1	16	12	13	3	3
1	1.5	6	11	12	4	5
1.5	2	11	10	11	4	7
2	2.5	10	10	10	4	8
2.5	3	10	9	10	5	9
3	3.5	14	9	9	5	9
3.5	4	11	8	9	5	10
4	4.5	10	7	8	5	10
4.5	5	9	7	7	5	9
5	5.5	3	7	7	6	9
5.5	6	6	6	7	6	9
6	6.5	8	6	6	6	9
6.5	7	7	5	6	6	8
7	7.5	1	5	5	6	8
7.5	8	6	5	5	6	7
8	8.5	4	4	5	6	7
8.5	9	5	4	4	6	6
9	9.5	4	4	4	6	6
9.5	10	3	4	4	6	5
10	10.5	2	3	4	6	5
10.5	11	3	3	3	5	5
11	11.5	4	3	3	5	4
11.5	12	2	3	3	5	4
12	12.5	3	3	3	5	4
12.5	13	5	3	3	5	3
13	13.5	1	2	3	4	3
13.5	14	2	2	2	4	3
14	14.5	3	2	2	4	2
14.5	15	0	2	2	3	2
15	15.5	2	2	2	3	2
15.5	16	3	2	2	3	2
16	16.5	1	2	2	3	2
16.5	17	1	2	2	2	1
17	17.5	6	1	2	2	1

17.5	18	0	1	1	2	1
18	18.5	2	1	1	2	1
18.5	19	1	1	1	2	1
19	19.5	1	1	1	1	1
19.5	20	0	1	1	1	1
20	20.5	2	1	1	1	1
20.5	21	2	1	1	1	1
21	21.5	1	1	1	1	1
21.5	22	2	1	1	1	1
22	22.5	0	1	1	1	0
22.5	23	1	1	1	1	0
23	23.5	0	1	1	0	0
23.5	24	0	1	1	0	0
24	24.5	1	1	1	0	0
24.5	25	0	1	1	0	0
25	25.5	0	1	1	0	0
25.5	26	0	0	1	0	0
26	26.5	1	0	0	0	0
26.5	27	0	0	0	0	0
27	27.5	0	0	0	0	0
27.5	28	1	0	0	0	0
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	2	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	2	0	0	0	0

④ 우측, 높은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	파이어슨 III
0	0.5	-	13	-	3	1
0.5	1	17	12	13	4	4
1	1.5	20	11	12	4	6
1.5	2	14	10	11	4	8
2	2.5	8	9	10	4	9
2.5	3	16	9	9	4	10
3	3.5	11	8	9	5	10
3.5	4	3	8	8	5	10
4	4.5	5	7	8	5	10
4.5	5	4	6	7	5	9
5	5.5	1	6	6	5	9
5.5	6	9	6	6	5	8
6	6.5	5	5	6	5	8
6.5	7	5	5	5	5	7
7	7.5	3	4	5	5	7
7.5	8	3	4	4	5	6
8	8.5	2	4	4	5	6
8.5	9	3	4	4	5	5
9	9.5	3	3	4	5	5
9.5	10	4	3	3	5	4
10	10.5	4	3	3	5	4
10.5	11	1	3	3	4	3
11	11.5	0	2	3	4	3
11.5	12	2	2	2	4	3
12	12.5	3	2	2	4	2
12.5	13	2	2	2	3	2
13	13.5	2	2	2	3	2
13.5	14	2	2	2	3	2
14	14.5	1	2	2	3	1
14.5	15	2	1	2	2	1
15	15.5	3	1	1	2	1
15.5	16	2	1	1	2	1
16	16.5	0	1	1	2	1
16.5	17	1	1	1	2	1
17	17.5	0	1	1	1	1

17.5	18	0	1	1	1	1
18	18.5	0	1	1	1	1
18.5	19	1	1	1	1	0
19	19.5	0	1	1	1	0
19.5	20	0	1	1	1	0
20	20.5	2	1	1	1	0
20.5	21	0	1	1	1	0
21	21.5	3	1	1	0	0
21.5	22	0	0	1	0	0
22	22.5	1	0	0	0	0
22.5	23	0	0	0	0	0
23	23.5	1	0	0	0	0
23.5	24	0	0	0	0	0
24	24.5	0	0	0	0	0
24.5	25	0	0	0	0	0
25	25.5	1	0	0	0	0
25.5	26	1	0	0	0	0
26	26.5	0	0	0	0	0
26.5	27	0	0	0	0	0
27	27.5	0	0	0	0	0
27.5	28	1	0	0	0	0
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	1	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	1	0	0	0	0

2. 차두시간 분포모형 적용 및 평가

① 좌측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	14	-	4	1
0.5	1	22	13	14	4	4
1	1.5	17	12	13	4	6
1.5	2	16	11	12	4	8
2	2.5	10	10	11	5	9
2.5	3	8	10	10	5	10
3	3.5	10	9	10	5	10
3.5	4	3	8	9	5	11
4	4.5	9	8	8	5	10
4.5	5	4	7	8	6	10
5	5.5	8	7	7	6	10
5.5	6	2	6	7	6	9
6	6.5	4	6	6	6	9
6.5	7	10	5	6	6	8
7	7.5	5	5	5	6	8
7.5	8	3	5	5	6	7
8	8.5	6	4	5	6	7
8.5	9	4	4	4	6	6
9	9.5	8	4	4	6	6
9.5	10	4	4	4	6	5
10	10.5	2	3	4	5	5
10.5	11	3	3	3	5	4
11	11.5	5	3	3	5	4
11.5	12	1	3	3	5	4
12	12.5	2	3	3	5	3
12.5	13	4	2	3	4	3
13	13.5	2	2	2	4	3
13.5	14	3	2	2	4	2
14	14.5	0	2	2	3	2
14.5	15	3	2	2	3	2
15	15.5	0	2	2	3	2
15.5	16	3	2	2	3	1
16	16.5	2	1	2	2	1
16.5	17	0	1	1	2	1

17	17.5	0	1	1	2	1
17.5	18	1	1	1	2	1
18	18.5	2	1	1	2	1
18.5	19	0	1	1	1	1
19	19.5	0	1	1	1	1
19.5	20	3	1	1	1	1
20	20.5	0	1	1	1	1
20.5	21	1	1	1	1	0
21	21.5	1	1	1	1	0
21.5	22	0	1	1	1	0
22	22.5	0	1	1	0	0
22.5	23	1	1	1	0	0
23	23.5	2	1	1	0	0
23.5	24	1	1	1	0	0
24	24.5	1	0	1	0	0
24.5	25	0	0	0	0	0
25	25.5	0	0	0	0	0
25.5	26	1	0	0	0	0
26	26.5	0	0	0	0	0
26.5	27	2	0	0	0	0
27	27.5	0	0	0	0	0
27.5	28	0	0	0	0	0
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	2	0	0	0	0
29	29.5	1	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0

② 좌측, 높은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	17	-	4	2
0.5	1	21	15	17	5	6
1	1.5	32	14	15	5	9
1.5	2	15	13	14	5	11
2	2.5	14	12	13	6	13
2.5	3	11	11	12	6	13
3	3.5	9	10	11	6	13
3.5	4	8	9	10	6	13
4	4.5	9	8	9	7	12
4.5	5	6	8	8	7	11
5	5.5	4	7	8	7	11
5.5	6	6	6	7	7	10
6	6.5	7	6	6	7	9
6.5	7	4	5	6	7	8
7	7.5	2	5	5	6	7
7.5	8	2	4	5	6	6
8	8.5	4	4	4	6	6
8.5	9	3	4	4	6	5
9	9.5	6	3	4	5	4
9.5	10	2	3	3	5	4
10	10.5	2	3	3	5	3
10.5	11	2	3	3	5	3
11	11.5	0	2	3	4	2
11.5	12	1	2	2	4	2
12	12.5	2	2	2	3	2
12.5	13	1	2	2	3	2
13	13.5	1	2	2	3	1
13.5	14	0	1	2	2	1
14	14.5	1	1	1	2	1
14.5	15	2	1	1	2	1
15	15.5	1	1	1	2	1
15.5	16	2	1	1	1	1
16	16.5	1	1	1	1	1
16.5	17	3	1	1	1	0
17	17.5	0	1	1	1	0

17.5	18	0	1	1	1	0
18	18.5	1	1	1	1	0
18.5	19	1	1	1	1	0
19	19.5	0	1	1	0	0
19.5	20	1	1	1	0	0
20	20.5	0	0	1	0	0
20.5	21	2	0	0	0	0
21	21.5	0	0	0	0	0
21.5	22	1	0	0	0	0
22	22.5	2	0	0	0	0
22.5	23	1	0	0	0	0
23	23.5	1	0	0	0	0
23.5	24	0	0	0	0	0
24	24.5	0	0	0	0	0
24.5	25	0	0	0	0	0
25	25.5	0	0	0	0	0
25.5	26	0	0	0	0	0
26	26.5	0	0	0	0	0
26.5	27	1	0	0	0	0
27	27.5	0	0	0	0	0
27.5	28	0	0	0	0	0
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0

③ 우측, 낮은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	17	-	5	2
0.5	1	33	16	17	5	6
1	1.5	23	15	16	5	9
1.5	2	11	14	15	6	11
2	2.5	12	13	14	6	12
2.5	3	15	12	13	6	13
3	3.5	8	11	12	6	13
3.5	4	7	10	11	7	13
4	4.5	10	9	10	7	13
4.5	5	5	9	9	7	13
5	5.5	10	8	9	7	12
5.5	6	9	7	8	7	11
6	6.5	6	7	7	7	10
6.5	7	7	6	7	7	10
7	7.5	6	6	6	7	9
7.5	8	2	5	6	7	8
8	8.5	5	5	5	7	7
8.5	9	5	5	5	7	7
9	9.5	5	4	5	7	6
9.5	10	4	4	4	6	5
10	10.5	2	4	4	6	5
10.5	11	3	3	4	6	4
11	11.5	0	3	3	5	4
11.5	12	3	3	3	5	3
12	12.5	1	3	3	5	3
12.5	13	3	2	3	4	3
13	13.5	2	2	2	4	2
13.5	14	4	2	2	4	2
14	14.5	3	2	2	3	2
14.5	15	2	2	2	3	2
15	15.5	3	2	2	3	1
15.5	16	1	2	2	2	1
16	16.5	0	1	2	2	1
16.5	17	0	1	1	2	1
17	17.5	2	1	1	2	1

17.5	18	1	1	1	1	1
18	18.5	0	1	1	1	1
18.5	19	2	1	1	1	1
19	19.5	2	1	1	1	0
19.5	20	0	1	1	1	0
20	20.5	1	1	1	1	0
20.5	21	0	1	1	1	0
21	21.5	1	1	1	0	0
21.5	22	0	1	1	0	0
22	22.5	1	1	1	0	0
22.5	23	0	1	1	0	0
23	23.5	2	0	1	0	0
23.5	24	1	0	0	0	0
24	24.5	0	0	0	0	0
24.5	25	0	0	0	0	0
25	25.5	0	0	0	0	0
25.5	26	0	0	0	0	0
26	26.5	1	0	0	0	0
26.5	27	1	0	0	0	0
27	27.5	0	0	0	0	0
27.5	28	3	0	0	0	0
28	28.5	1	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0

④ 우측, 높은 수준의 교통량과 모형의 데이터 비교

차두시간 간격(초)		관측치 (대)	이론치(대)			
최소	최대		음지수	전이된 음지수	정규	피어슨 III
0	0.5	-	7	-	2	1
0.5	1	6	7	7	2	2
1	1.5	14	6	7	2	4
1.5	2	6	6	6	2	4
2	2.5	5	5	6	2	5
2.5	3	5	5	5	3	5
3	3.5	3	4	5	3	5
3.5	4	7	4	4	3	5
4	4.5	3	4	4	3	5
4.5	5	5	3	4	3	5
5	5.5	1	3	3	3	5
5.5	6	1	3	3	3	5
6	6.5	2	3	3	3	4
6.5	7	0	3	3	3	4
7	7.5	3	2	3	3	4
7.5	8	4	2	2	3	3
8	8.5	2	2	2	3	3
8.5	9	3	2	2	3	3
9	9.5	2	2	2	3	2
9.5	10	2	2	2	3	2
10	10.5	2	1	2	3	2
10.5	11	2	1	1	2	2
11	11.5	0	1	1	2	2
11.5	12	2	1	1	2	1
12	12.5	0	1	1	2	1
12.5	13	0	1	1	2	1
13	13.5	0	1	1	2	1
13.5	14	2	1	1	1	1
14	14.5	1	1	1	1	1
14.5	15	1	1	1	1	1
15	15.5	0	1	1	1	1
15.5	16	0	1	1	1	0
16	16.5	1	1	1	1	0
16.5	17	2	1	1	1	0
17	17.5	1	0	1	1	0

17.5	18	0	0	0	0	0
18	18.5	0	0	0	0	0
18.5	19	0	0	0	0	0
19	19.5	0	0	0	0	0
19.5	20	0	0	0	0	0
20	20.5	0	0	0	0	0
20.5	21	1	0	0	0	0
21	21.5	1	0	0	0	0
21.5	22	0	0	0	0	0
22	22.5	0	0	0	0	0
22.5	23	1	0	0	0	0
23	23.5	0	0	0	0	0
23.5	24	1	0	0	0	0
24	24.5	1	0	0	0	0
24.5	25	0	0	0	0	0
25	25.5	0	0	0	0	0
25.5	26	0	0	0	0	0
26	26.5	0	0	0	0	0
26.5	27	0	0	0	0	0
27	27.5	0	0	0	0	0
27.5	28	0	0	0	0	0
28	28.5	0	0	0	0	0
28.5	29	0	0	0	0	0
29	29.5	0	0	0	0	0
29.5	30	0	0	0	0	0

Abstract

Bikeway Driving Safety Analysis Focusing on Time Headways and Vehicle Avoidance Characteristics

Jeon, Woo-Hoon

Transportation Studies

Department of Environmental Planning

The Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

The increasing use of bicycles requires more elaborate work to find some important specification of bicycle related infrastructure. It is lawfully mentioned that bicycles must use the right edge of roads or bicycle exclusive lanes in Korea. The width of bicycle exclusive lane is generally around 1.5 meters, and thus passing is hardly possible, leading to being affected by the bicycles both in front and rear. On the other hand, vehicles in the road keep a certain distance to a bicycle when passing it. Considering these features of bicycle use environment, the longitudinal interaction between bicycles in the separated bicycle lanes (longitudinal characteristics) as well as the behavior of vehicles passing bicycles in the road (lateral characteristics) were analyzed in this study. The longitudinal characteristics were studied using time headway models and capacity analysis method, and separation distance analysis was adopted for studying the lateral characteristics.

Four well-known time headway models were adopted and verified using the field data. Thorough data manipulation methodology including outlier filtering, data aggregation range, data segregation by traffic volumes was investigated. The used probability distribution in the time headway models include normal distribution (NORM), negative exponential distribution (NE), Pearson Type III distribution (PEARSON), and the shifted negative exponential distribution with $\alpha=0.5$ second (SNE). Chi-squared test showed that NE and SNE are significantly well fitted to the observed time headways under the significance level of 0.01 whereas NORM and PEARSON are not.

Road capacity is basically observed by collecting time headways when the road is capacitated. It is hardly possible, however, to observe the capacitated state in the bicycle exclusive lane, and thus the notion of bicycle platoon was adopted to calculate the bicycle lane capacity. It is assumed that the bicycle platoon temporarily replicates the capacitated state and thus the average time headways of each platoon represents the inverse of the capacity. The total number of platoons observed is 189 with the total number of bicycles of 556, and the average time headway is 1.01 second meaning that the bicycle lane capacity is about 3,600 bicycles/hour.

The important measure of effectiveness to measure the bicycle safety in the road is the separation distance which is the distance from a vehicle to a bicycle when the vehicle passes the bicycle. The lateral driving behavior of vehicles was observed based on the field survey data when passing a bicycle in this study for the analysis of lateral safety of bicycles. The distance was measured at a time point when a vehicle is passing a bicycle, and the safe separation distance of 1.58 meters was proposed after thorough investigation. In addition, the recommended width of shoulder lane was calculated, and it is 2.08 meters which minimizes the separation distance of a vehicle.

keywords: Bikeway, Bicycle Time Headway, Capacity, Bicycle
Time Headway Model, Bicycle Traffic Flow,
Separation Distance

Student No. : 2008-30676